



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola Politècnica Superior d'Edificació  
de Barcelona

# **ARQUITECTURA TÉCNICA Y EDIFICACIÓN**

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

### **CONSTRUCCIÓN ACTUAL EN MADERA: EDIFICIOS DE MÁS DE DOS ALTURAS EN EL NOROESTE DE ESPAÑA**

**Proyectista/s:** Alexander Kaiser Sagüés

**Director/es:** Alina Avellaneda, Joaquín Montón Lecumberri

**Convocatoria:** Septiembre-Octubre 2019



## RESUMEN

Este proyecto consiste en una investigación sobre la situación actual de la construcción de edificios de más de dos alturas, con estructura de madera, en el noroeste de España. Con la información recopilada y obtenida a través del contacto con diferentes personalidades y organismos especializados, se busca estudiar la situación actual de esta actividad en nuestro país y poder, así, realizar un análisis riguroso sobre la madera estructural y los proyectos más destacados dentro del área de influencia.

El trabajo consta de una primera parte donde se estudia y plasma de manera sintetizada la necesidad de este tipo de construcción ligada a la situación climática actual y donde se analizan los recursos forestales que dispone España, como introducción a una actividad que debería basar su éxito en gestionar y aprovechar su materia prima autóctona de manera eficiente y sostenible.

El núcleo del trabajo comienza con una breve mención a los antecedentes de la construcción con madera y se adentra a elaborar un repaso técnico de los productos transformados de la madera que pueden ser empleados en estructuras, con una descripción del material, información técnica y normativa de aplicación. También son descritos las diferentes tipologías constructivas que se siguen actualmente para erigir edificios con madera.

En la parte central se analiza la situación actual de la construcción de edificios de madera en el noroeste peninsular, llevando a cabo un trabajo de localización y descripción de los edificios actualmente ejecutados o proyectados a lo largo de esta zona del país, desde 2011 con los primeros edificios de esta tipología, hasta proyectos ejecutados en 2019.

La parte final del núcleo se compone de los análisis técnicos de los edificios paradigmáticos, en los cuales puede seguirse el proceso constructivo de los mismos mediante información, imágenes y detalles, documentación obtenida directamente de los agentes intervinientes, ya sean arquitectos, constructoras u organismos.

A través de toda la información recopilada, tratada, estudiada y analizada, se puede comprobar cómo este tipo de construcción todavía es una anomalía en nuestro país, a diferencia del centro y norte de Europa o Norteamérica, donde los proyectos son comunes. Pero, al mismo tiempo, se pone en valor a los pioneros que, lejos de tenerlo fácil, apostaron por la madera y abrieron el camino en España a una corriente que no hace más que crecer.

Con esta investigación se pone de manifiesto la necesidad de cambio que está viviendo nuestro sector como parte, actividad o proceso que transcurre en el planeta. El punto de no retorno en la situación medioambiental es inminente, por lo que es preciso un giro en nuestra manera de construir y, en definitiva, de vivir, para intentar mitigar el cambio climático.

La construcción con madera forma parte de esta voluntad de cambiar los hábitos que nos han llevado a este escenario crítico. Favorece la reforestación mediante una gestión eficiente y sostenible y certificada de los bosques y sumideros naturales de CO<sub>2</sub> que ayudan a que este gas no acabe llegando a la atmósfera. Promueve una manera de construir eficaz, rápida y limpia, dando lugar a edificios de bajo o nulo consumo energético y, en el futuro, reciclables.

## ÍNDICE

1	Introducción .....	4
1.1	Sostenibilidad y situación climática actual .....	5
1.2	Recursos forestales en España.....	9
2	Antecedentes históricos .....	13
3	Productos de madera con uso estructural .....	14
3.1	Madera aserrada.....	14
3.2	Madera empalmada .....	16
3.3	Madera maciza encolada .....	17
3.4	Madera laminada encolada .....	19
3.5	Madera microlaminada.....	20
3.6	Madera reconstituida.....	22
3.7	Tableros derivados de la madera .....	23
3.8	Madera contralaminada.....	25
4	Sistemas en la construcción de edificios de madera .....	27
4.1	Panel Systems .....	27
4.2	Frame Systems .....	28
4.3	Hybrid Systems .....	30
5	Edificios actuales en el noroeste peninsular .....	31
5.1	Santa Cruz de Campezo (Álava) .....	33
5.2	Zierbena (Vizcaya) .....	34
5.3	Ikazteguieta (Guipúzcoa) .....	34
5.4	Hondarribia (Guipúzcoa) .....	35
5.5	Vigo (Pontevedra) .....	35
5.6	Muros de Nalón (Asturias).....	36
5.7	Pamplona y Aranguren (Navarra).....	38
6	Análisis técnico de edificios paradigmáticos .....	39
6.1	Viviendas en Santa Cruz de Campezo (Álava).....	39
6.2	Ayuntamiento en Ikazteguieta (Guipúzcoa) .....	49
6.3	Dos edificios de viviendas en Hondarribia (Guipúzcoa).....	60
6.4	Edificio público en Vigo (Pontevedra).....	67
7	Conclusiones .....	76
	Bibliografía.....	77
	Agradecimientos .....	81
	ANEXOS.....	82

## PREFACIO

*"We are living in an age which will come to be dominated by our relationship with the planet. As the changes to our climate become ever more apparent, the way we live and inhabit the earth will, by necessity, be transformed.*

*A fundamental change in the way in which we build our cities is imperative, re-learning how to build in timber and how to build tall with the new engineered timbers that the 21st century technologies allow will be fundamental to our future. This new age of architecture takes us beyond the notions of modernism and concrete construction to a new timber age.*

*Timber is the only construction material that can be grown and as it grows it consumes carbon. Using timber not only reduces our impact in the planet but will also help to reverse some of the effects of 20th century industrialization. Timber construction is not only healthy for our planet but is also healthy for humans. Living and working in timber buildings is good for the soul and good for health. The time has come again to leave behind inhospitable concrete caves and embrace the timber age.*

*A new architecture will emerge as we learn how to build in timber. We are the very beginning of this new and exciting era."*

Estamos viviendo en una era que vendrá a ser dominada por nuestra relación con el planeta. A medida que los cambios en nuestro clima sean cada vez más evidentes, la forma en que vivimos y habitamos la tierra, por necesidad, se transformará.

Un cambio fundamental en la forma en que construimos nuestras ciudades es imperativo, volver a aprender cómo construir en madera y cómo construir alto con las nuevas maderas de ingeniería que permiten las tecnologías del siglo XXI serán fundamentales para nuestro futuro. Esta nueva era de la arquitectura nos lleva más allá de las nociones de modernismo y construcción en hormigón a una nueva era de la madera.

La madera es el único material de construcción que se cultiva y, a medida que crece, consume carbono. El uso de la madera no solo reduce nuestro impacto en el planeta, sino que también ayudará a revertir algunos de los efectos de la industrialización del siglo XX. La construcción en madera no solo es saludable para nuestro planeta, sino que también es saludable para los humanos. Vivir y trabajar en edificios de madera es bueno para el alma y bueno para la salud. Ha llegado el momento de dejar atrás las inhóspitas cuevas de hormigón y abrazar la edad de la madera.

Una nueva arquitectura surgirá a medida que aprendamos cómo construir en madera. Somos el principio de esta nueva y emocionante era.

Andrew Waugh, 2016, traducido al castellano  
Waugh Thistleton Architects, Londres

## 1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación constituye el Trabajo Final de Grado de los estudios de Arquitectura Técnica y Edificación en la EPSEB - UPC, y forma parte de la línea de investigación relacionada con el proyecto Erasmus+ Knowledge Alliance for Mid and Tall Sustainable Wooden Buildings (KnoWood), con referencia 600903-EPP-1-2018-1-DK-EPPKA2-KA, del que son participantes mis co-directores.

Mi estancia como alumno en prácticas en el Laboratorio de Edificación, en la misma Escuela, fue fundamental en el desarrollo de los acontecimientos posteriores que me llevaron a que esta investigación constituyera mi TFG. Concretamente, los vínculos profesionales creados en dicho Laboratorio facilitaron que acudiese al mismo para pedir asesoramiento a la hora de afrontar la elección del tema del trabajo. De este modo, Alina Avellaneda, integrante ahora del Laboratorio del Fuego de la EPSEB, me presentó la idea de desarrollar una investigación basada en la madera estructural en edificación, *rara avis* en nuestro país, centrada en el noroeste peninsular, y con la supervisión del experto en madera de Joaquín Montón Lecumberri como co-director del proyecto.

En esta investigación han jugado un papel esencial los diferentes agentes que han participado en la construcción con madera en la última década en España. Entes públicos, constructoras, estudios, arquitectos o ingenieros con los que he tenido la oportunidad de contactar, involucrados directa o indirectamente en la construcción de los edificios más representativos de la zona de estudio, y cuya colaboración para con el objetivo académico de este trabajo ha sido siempre excepcional.

A través de dichos agentes he podido acceder a información y documentación de primera mano sobre los proyectos presentados en el trabajo, con lo que he podido ir confeccionando un análisis riguroso. A su vez, el apoyo en libros especializados, revistas, artículos técnicos o la asistencia a congresos ha sido fundamental para completar el desarrollo de la investigación.

Para analizar las construcciones actuales, es decir, el resultado final, ha sido importante y necesario conocer la materia prima, el inicio de un proceso que nace en la tierra, en los bosques. En este proyecto se sigue una línea temporal con el objetivo de estudiar desde los recursos forestales, pasando por los productos de madera con dotaciones estructurales, hasta el análisis técnico de las construcciones paradigmáticas del noroeste de España.

Mas, en el núcleo de este documento, se desprende un objetivo más allá de analizar la madera como material estructural y su realidad actual en construcciones contemporáneas en nuestro país. Se pretende exponer la situación de emergencia climática -prácticamente de no retorno- que vivimos, y proponer la madera como material constructivo viable como aportación desde nuestro sector a mitigar los efectos del cambio climático, en gran medida provocados por nuestra actividad durante más de un siglo.

## 1.1 SOSTENIBILIDAD Y SITUACIÓN CLIMÁTICA ACTUAL

Es indudable que la madera es un material de construcción totalmente sostenible teniendo en cuenta sus características: es fuerte, duradero, renovable y fabricado por la naturaleza. No obstante, desde el punto de vista práctico se plantean problemas importantes de gestión de los recursos forestales de los que dispone el planeta.

Dicha gestión debe poder realizarse de manera satisfactoria para nuestras necesidades sin reducir sus áreas y sin afectar los beneficios ecológicos que nos proporciona, tales como la purificación del aire y el agua, la producción de reservas de carbono y la provisión y protección de biodiversidad y hábitats animales.

Green y Taggart (2017) exponen una serie de principios básicos con el fin de alcanzar una gestión forestal sostenible. Siguiendo la línea del planeamiento, dichos principios básicos pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

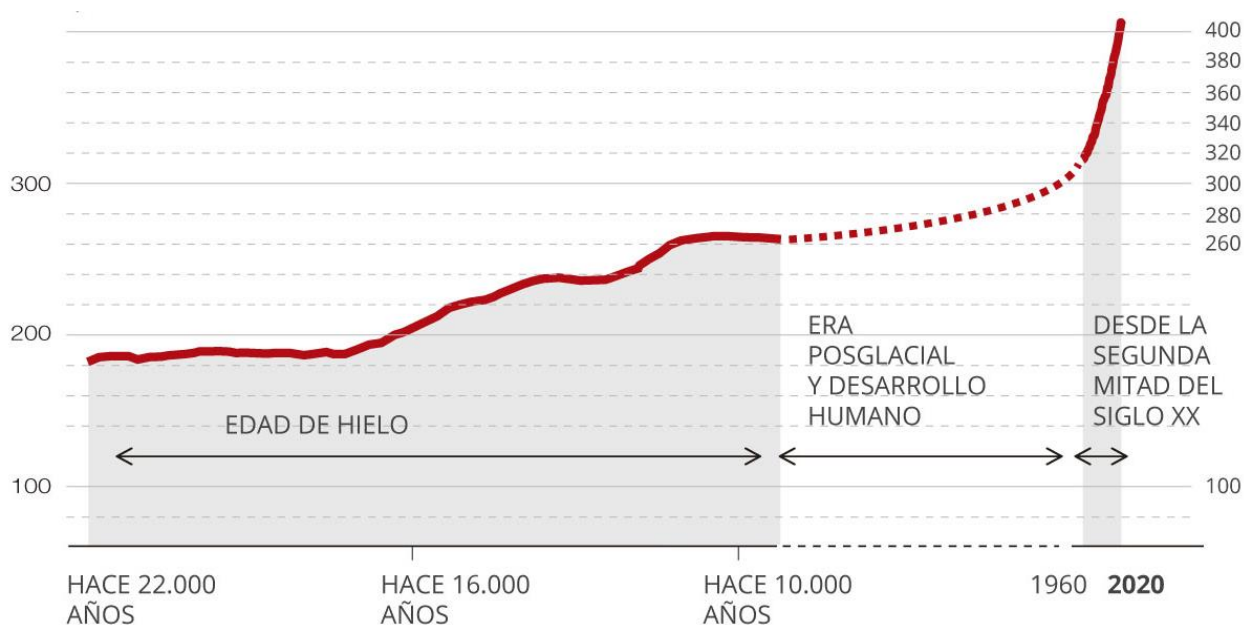
- Proteger, mantener y conservar la diversidad de especies vegetales y animales de los sistemas forestales.
- Favorecer su capacidad productiva para que los bosques generen madera en calidad y cantidad suficientes para su uso y la reforestación del planeta.
- Promover y mantener su vitalidad y salud evitando que los bosques se conviertan en simples plantaciones de madera, potenciándolos como santuarios de biodiversidad.
- Conservar y mantener los recursos de suelo y agua; los principales ecosistemas se benefician de los bosques y suelos: agua limpia y ordenación de las cuencas hidrográficas.
- Mantener la contribución forestal a los ciclos globales del carbono; los bosques absorben casi un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis, convirtiéndose en sumideros de carbono esenciales para el equilibrio del ecosistema.
- Mantener y mejorar beneficios socioeconómicos a largo plazo para satisfacer las necesidades de las sociedades.
- Proveer marcos legales, institucionales y económicos para la conservación forestal y gestión sostenible. Es capital una regulación y normalización de los procesos y productos para una actividad sostenible y de calidad certificada.

El equilibrio de la composición de la atmósfera terrestre tiene mucho que ver con el “**ciclo del carbono**” y la capacidad de los árboles de absorber dióxido de carbono y liberar oxígeno. Durante toda su vida el árbol utiliza la luz del sol para ir almacenando CO<sub>2</sub> y convertir el carbono que contiene en celulosa, componente principal de la fibra de la madera, hasta que se descompone o destruye por el fuego, momento en que ese carbono se libera de nuevo como CO<sub>2</sub>.

¿Y qué ocurre con todo el CO<sub>2</sub> que generamos? Los bosques, suelos o áreas forestales son de vital importancia para reducir el CO<sub>2</sub> concentrado en la atmósfera, llegando a reabsorber el 30% de las emisiones de este gas tan nocivo. Los agentes biológicos que reabsorben CO<sub>2</sub> reciben el nombre de "sumideros de carbono".

Es imperativo favorecer la conservación, mejora y crecimiento de estos sumideros, y construir en madera lo hace. No solo es beneficioso para la reforestación, sino que los propios edificios de madera actúan también como almacenes de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a que este gas no acabe llegando a la atmósfera.

Este proceso natural generado por agentes biológicos ha sido eficaz desde el origen del planeta tierra hasta que el ciclo del carbono empezó a sufrir alteraciones a causa de la quema masiva de combustibles fósiles, generando un aumento progresivo y acelerado de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. (Figura 1.1.1).



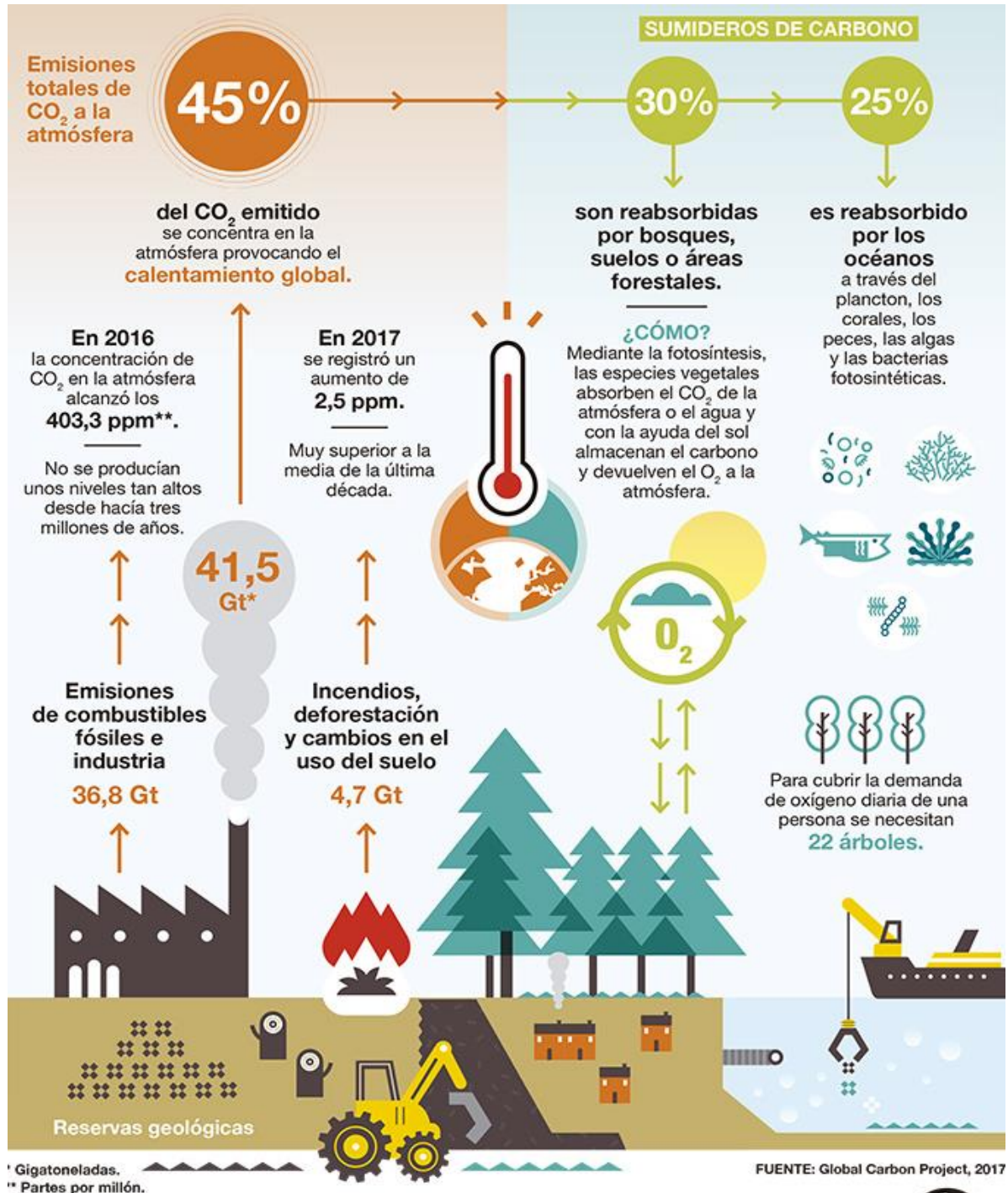
**Figura 1.1.1:** CO<sub>2</sub> en la atmósfera en los últimos 20.000 años. Cifras en partes por millón.  
(Fuente: Organización Meteorológica Mundial - Gráfico de El Periódico).

Esta realidad se ha mantenido en el tiempo y se ha ido agravando. Indicadores mundiales advierten del estado de emergencia, como la Organización Meteorológica Mundial (2018), desvelando que, desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad, la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ha pasado de 320 partes por millón (ppm) a superar las 400 ppm, suponiendo un incremento sin precedentes.

O como avisa Global Carbon Project (2017), desde los inicios de la Revolución Industrial hasta nuestros días, la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire ha pasado de 278 partes por millón (ppm) a +400 ppm. (Figura 1.1.2).



Ante este incremento desproporcionado de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) -en 2017 ya se registraron unos valores de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de 405,8 ppm-, los principales sumideros de carbono tan solo son capaces de retirar el 50% de la circulación.



El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero que más influye en el calentamiento global.

**Figura 1.1.2:** Infografía sobre las emisiones y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en nuestro planeta. (Fuente: Global Carbon Project, 2017 - Infografía de Iberdrola).

La deforestación y el aumento de población, cuya actividad y modo de vida depende de los combustibles fósiles, han causado un grave desequilibrio en el sistema en los últimos 200 años, comprometiéndolo y creando una inestabilidad climática sin precedentes.

Los edificios en madera contribuyen a la mitigación del cambio climático, no solo a través del mayor almacenamiento de carbono, sino también a través del descenso de los gases de efecto invernadero resultantes si la madera fuese usada como sustituta de los materiales de alto consumo energético. Es por ello que la construcción en madera se ha convertido no solo en una corriente u opción arquitectónica, sino en una necesidad para combatir un problema global, como es el cambio climático y sus ligadas desastrosas consecuencias.

Las certificaciones de terceros avalan las reglas de la práctica forestal a través de los indicadores del *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC) y del *Forest Stewardship Council* (FSC), (Figura 2.1.2), entre otros. Estos dos sistemas de certificación son los más conocidos, pero no los únicos, y buscan asegurar que los bosques del mundo sean gestionados de forma responsable, protegiendo la multitud de funciones de los mismos para las generaciones presentes y futuras.



*Figura 1.1.3: Ejemplos de certificaciones del FSC (imagen izquierda) y del PEFC (imagen derecha) en productos transformados de madera. (Fuente: páginas web oficiales de FSC y PEFC).*

Por otra parte, el Reglamento 995/2010 de 20 de octubre de 2010 – Reglamento Europeo sobre la madera, de la UE, conocido como EUTR, busca asegurar que toda la madera comercializada en Europa tenga un origen legal.

En España se está implementando de forma activa a través del Real Decreto 1088/2015, que establece una declaración responsable para los agentes que actúen comercializando madera en España para controlar el riesgo de comercializar madera de procedencia ilegal. Su cumplimiento se está llevando a cabo por los inspectores de las comunidades autónomas junto con los agentes del SEPRONA<sup>1</sup> de la Guardia Civil. Cientos de visitas de control de documentación y de toma de muestras de confirmación están previstas durante este año 2019 dentro del Plan de Control lanzado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

---

<sup>1</sup> SEPRONA: Servicio de Protección de la Naturaleza, especialidad de la Guardia Civil.

## 1.2 RECURSOS FORESTALES EN ESPAÑA

Para criterios de uniformidad se utilizan los términos y definiciones especificados en el "Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Naturales nº 180" y los datos del informe de la "Evaluación de los Recursos Forestales mundiales 2015" de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estudio que se lleva a cabo cada cinco años y que constituye el principal compendio estadístico forestal mundial.

En dicho documento se denomina *bosque o superficie forestal arbolada* a las "tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano."

A su vez, en el mismo documento de términos y definiciones, las *otras tierras boscosas o superficie forestal desarbolada* recibe la denominación de "tierra no definida como 'bosque' que se extiende por más de 0,5 hectáreas; con árboles de una altura superior a 5 metros una cubierta de dosel de 5 a 10 por ciento, o árboles capaces de alcanzar estos límites mínimos; o con una cubierta mixta de arbustos, matorrales y árboles superior a 10 por ciento. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano."

Por tanto, dentro de la superficie forestal de un país encontraremos bosques (superficie arbolada) y otras tierras boscosas (superficie desarbolada), formando el total forestal.

Según el compendio de datos del informe de la "Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015", España es el segundo país de Europa con mayor superficie forestal sólo por detrás de Suecia. Cuenta con 27,6 millones de Ha de superficie forestal, representando un 54,8% de su territorio.

Los bosques (superficie arbolada) representan un 36,9% de la superficie de tierras de España. Con una superficie de 18,4 millones de hectáreas, España se erige como el tercer país con mayor superficie forestal arbolada de Europa, por detrás de Suecia (28 millones de Ha) y de Finlandia (22 millones de Ha). Además, nuestros bosques crecen, y lo hacen cuadruplicando la media europea (2,19% frente al 0,57%).

Superficie forestal total en España	27,6 millones Ha	
Bosques / Sup. forestal arbolada	18,4 millones Ha	66,6 %
Otras tierras boscosas / Sup. forestal desarbolada	9,2 millones Ha	33,3 %

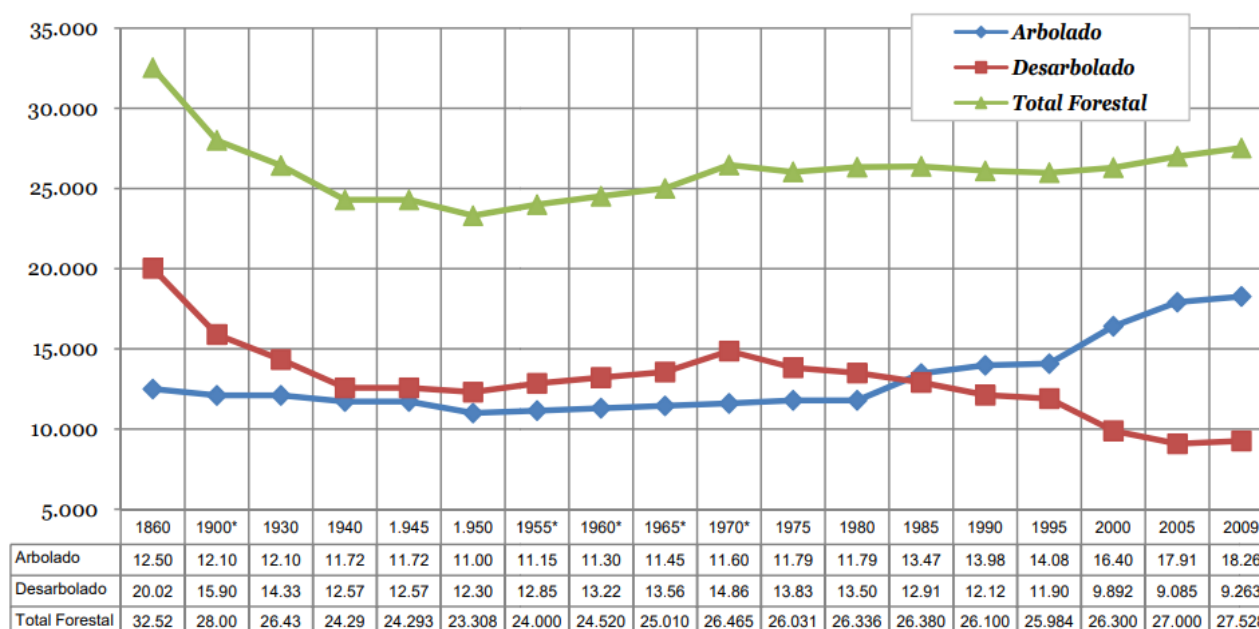
**Figura 1.2.1:** Tabla de datos sobre la superficie forestal en España.

(Fuente: elaboración propia a partir de la información del compendio de datos del informe "Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015").

Los 9,2 millones de hectáreas de la superficie forestal desarbolada, que representan un tercio de la superficie forestal total en España, son también el 40% de toda la superficie desarbolada de la Europa de los 27. En nuestro país son abundantes los matorrales, pastizales y eriales, poseyendo casi la mitad de los existentes en la Unión Europea.

En cuanto a las variedades y el aprovechamiento de los recursos forestales en España, tal y como recoge el Informe de Situación de los Bosques y del Sector Forestal en España (2010,) se pueden resaltar los siguientes datos:

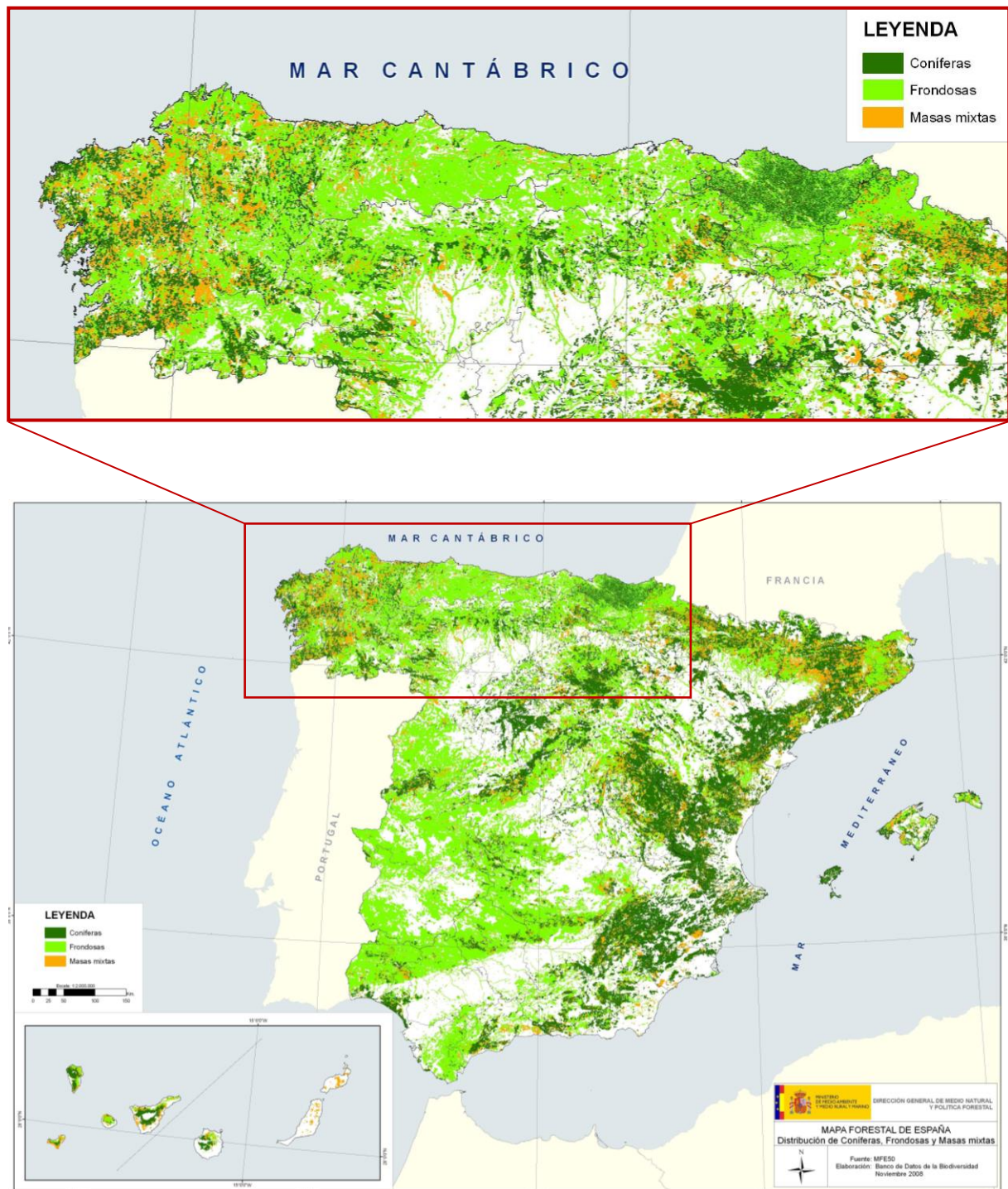
- La mayor parte de los bosques en España están poblados por especies autóctonas. La composición específica corresponde a 8,6 millones de Ha. de frondosas (46,4% de la superficie forestal arbolada), 6,4 millones de Ha. de coníferas (34,5%) y 3,5 millones de Ha. de masas mixtas (19,1%).
- El crecimiento anual de la madera de los bosques españoles (45 millones de m<sup>3</sup>) es tres veces superior a la cuantía que realmente se corta y aprovecha (15 millones de m<sup>3</sup>), lo que corresponde a una ratio de 3 a 1. Con estos datos, debemos importar madera de otros países, ya que nuestro consumo anual es de 32 millones de m<sup>3</sup>.
- Los bosques españoles, con una debida gestión, podrían ofertar una producción anual de unos 30 millones de m<sup>3</sup>, lo que significaría duplicar el aprovechamiento actual. Además, no acarrearía efectos perjudiciales. Al contrario, mejoraría la situación actual de abandono de los bosques y seguirían cumpliéndose todas las funciones sociales y ambientales. El empleo rural también se vería afectado de manera positiva, aumentando en un 50% los empleos actuales (de 200.000 a 300.000).
- Desglosando los datos de evolución de la superficie forestal arbolada (bosques) desde hace 150 años, se puede obtener la información reflejada en la siguiente gráfica (Figura 1.2.2) donde también puede apreciarse la complementariedad de la superficie arbolada y desarbolada de las últimas décadas: cuando la primera crece, la segunda disminuye de manera similar.



**Figura 1.2.2:** Evolución de la superficie nacional arbolada y desarbolada.

(Fuente: Informe de Situación de los Bosques y del Sector Forestal en España, 2010)





**Figura 1.2.3:** Mapa Forestal de España y detalle del noroeste peninsular, 2008.  
(Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

En España, la normativa del sector de la construcción recoge especies forestales cuyas maderas están caracterizadas en sus normas UNE 56544 y UNE 56546. También lo hace el marco europeo en sus normas UNE-EN 1912 y UNE-EN 14080-1.

Para estas maderas ya normalizadas, la Declaración de Prestaciones se puede efectuar siguiendo la norma UNE-En 14080-1 y ha de realizarse según lo establecido en el Reglamento de Productos de la Construcción (Reglamento UE nº 305/2011) que regula el Mercado CE.

Por tanto, las especies cuyas maderas han sido caracterizadas e incorporadas a esta normativa son las siguientes:

- Coníferas:
  - Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)
  - Pino radiata (*Pinus radiata*)
  - Pino pinaster (*Pinus pinaster*)
  - Pino laricio (*Pinus nigra*)
- Frondosas:
  - Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)
  - Castaño (*Castanea sativa*)

A su vez, existen otras especies forestales que no están recogidas en las normas, pero que han pasado un proceso de caracterización. Para estas maderas, la Declaración de Prestaciones ha de hacerse mediante informes de ensayos iniciales de tipo. Las especies forestales que están recogidas en este grupo son de producción muy inferior a las anteriores y entre ellas cabe citar a: Alerce (*Larix kaempferi*), Abeto (*Abies alba*), Roble rojo (*Quercus rubra*), Pino Oregón/Abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) o Ciprés de Lawson (*Chamaecyparis lawsoniana*).

Nuestras maderas más importantes para el sector de la construcción, es decir, las cuatro clases de pinos anteriormente citadas, están plenamente presentes en la normativa nacional e internacional desde hace dos décadas.

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Según TECTÓNICA (2001), hasta finales del siglo XIX y principios del XX, las estructuras de madera suponían una constante en la construcción de edificios, hasta la llegada y generalización del hormigón armado, que supuso el abandono de la madera por más de un siglo, hasta nuestros días. Desde los primeros tiempos, cuando los medios eran escasos y rudimentarios, las primeras expresiones estructurales nacieron con la madera. Más adelante, cuando otros materiales empezaron a complementarla o sustituirla, las construcciones originarias conservaron en muchos casos la naturaleza de este primer enfoque, con el que se siguió construyendo y planteando nuevas técnicas edificatorias con materiales diferentes. Hoy en día, esta expresión primigenia puede observarse en los órdenes clásicos o en diversa arquitectura popular.

Las construcciones con mayor proporción de madera en el volumen de la estructura se dieron en zonas del planeta donde el clima era frío y los bosques grandes y abundantes. Por otro lado, en países con características diferentes, que no contaban con tanto volumen de madera al alcance, ésta no representaba casi la totalidad de la estructura, sino la portante horizontal y de cubierta. En la actualidad se está volviendo a utilizar la madera como material estructural para la construcción de edificios de varias alturas, algo que el ser humano llevaba haciendo desde la antigüedad.

No es casualidad que, hoy en día, la zona con más edificios nuevos y en proyección con estructura de madera se encuentre en el noroeste de la península y más concretamente en el País Vasco, Navarra y zonas cantábricas. Se trata de las regiones con mayor bagaje de edificios históricos de madera de España hasta que se dejara de recurrir a la madera para construir, a finales del siglo XIX. En esta zona, respecto a la madera, se posee una historia, cultura, conocimiento y materia prima autóctona en abundancia, lo hace más probable que hoy se apueste por esta nueva corriente y se desarrollen proyectos de esta índole.

En España la construcción en altura con hormigón armado ha supuesto en este tiempo una generalización que se podría catalogar como total. Tanto, que resulta casi imposible imaginar, o ver, un bloque de viviendas que no se levante con este material. En un encuentro que pude mantener con Jon Gorroño, responsable de la oficina técnica de Egoín S.A., hizo constar una anécdota de su etapa de estudiante en Francia para plasmar la realidad que se vive en España con el hormigón. Me explicó la incredulidad de algunos compañeros respecto al uso que se le daba al hormigón en España. Concretamente, les asombraba que incluso las cubiertas las realizáramos con dicho material, y acudían a Gorroño para que les confirmase si era cierto. Se trata de un testimonio que puede reflejar la diferencia entre un país obsesionado con el hormigón en construcción, y una Europa que lleva décadas avanzando en una construcción donde la madera no es una anomalía.

El siglo XXI está suponiendo un tiempo de voluntad de cambio en el sector, sobre todo en los países del centro y norte de Europa, y Norteamérica. El desarrollo de la construcción de edificios de madera está avanzando sin detenimiento materializando un movimiento de lucha contra el cambio climático. La construcción en altura sostenible, con materiales renovables y edificios de consumo energético nulo es posible gracias a la madera. Así como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la repoblación de los bosques son consecuencias directas de apostar por esta corriente que, poco a poco, intenta entrar y, en el futuro, consolidarse en España.

### 3. PRODUCTOS DE MADERA CON USO ESTRUCTURAL

Según Argüelles y Arriaga (2014) se podrían diferenciar diferentes productos de madera utilizados con más frecuencia para la construcción de estructuras. En este apartado se describen los productos derivados de la madera con uso estructural más comunes, incluyendo una información general sobre dimensiones, propiedades y normativa de aplicación.

#### 3.1 MADERA ASERRADA

Constituye el producto básico para la construcción con madera y se obtiene por aserrado del tronco. Se utiliza principalmente en estructuras de luces pequeñas (4-6 m) y medias (6-17 m) formando una estructura completa o como parte de ella en los sistemas mixtos formados por muros de carga con forjados y cubierta de madera.

En los sistemas de entramado ligero la madera constituye las viguetas de forjado con luces < 4,5 m, los pies derechos de los muros entramados y las armaduras de la cubierta (con vanos de 12-16 m). En estos casos la sección de las piezas es de 38-45 mm y no quedan vistas (revestimientos de protección frente al fuego).

En cuanto a **materiales**, las especies recogidas en la normativa española de clasificación y en la norma UNE-EN 1912 son:

- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp.)
- Pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)

La mayor parte de las estructuras de madera en España se fabrican con especies importadas del centro y Norte de Europa y de Norteamérica. Las más frecuentes son el falso abeto y el pino silvestre. También se emplean otras especies frondosas importadas como el Roble del norte de Francia y Alemania, y el Elondo de África.



**Figura 3.1.1:** Listones de madera aserrada  
(Fuente: web de Madera21 de Corma).

Las **dimensiones** de las piezas de madera aserrada no están normalizadas en el ámbito europeo. En España, generalmente la componen escuadrías superiores a 100x100 mm, siguiendo una gama de 100x150, 150x150, 150x200, 200x200 y 200x250 mm (pino silvestre y laricio). Los largos llegan incluso a 9 m.



En escuadrías menores las dimensiones varían según la especie. Para gruesos mayores o iguales a 38 mm, se resumen las dimensiones en la siguiente tabla:

Especie	Gruesos (mm)	Anchuras (mm)	Largos (m)
Pino silvestre	38-50-75-100	150-180-205-230	2,2 y 4,4
Pino radiata	38-50-65-75-100	100-125/130-150-175/180-200-225/230	5 y 5,5
Pino pinaster	40-50-76	170-240-250	2,5 y 3

**Figura 3.1.2:** Dimensiones de especies españolas para madera aserrada.  
(Fuente: a partir de los datos del libro: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

La **clasificación estructural** es necesaria debido a la heterogeneidad de la madera. En Europa, las propiedades mecánicas de este producto se obtienen mediante un proceso normalizado y extendido a lo largo de este continente.

- **Clasificación visual:** es el método más extendido y consiste en la asignación de la calidad a una determinada categoría definida en una norma de clasificación visual en función de las singularidades –defectos- de la madera, tales como nudos, desviación de la fibra, fendas, acebolladuras, anillos de crecimiento, gemas o afectaciones por ataques bióticos.  
En España, las normas de uso más frecuentes y sus calidades son: UNE 56544 (ME-1, ME-2 y MEG-gruesa escuadría), y UNE 56546 (MEF-de frondosas).
- **Clasificación mecánica:** realización de un ensayo mecánico no destructivo y rápido para obtener el módulo de elasticidad de la pieza, con el que se determina la clase resistente. Las normas UNE-EN 14081-2, 3 y 4 regulan la puesta a punto y el uso de las máquinas en este procedimiento. El grueso máximo de las piezas es de 70 mm.
- **Clasificación acústica:** clasificación automática basándose en la determinación del módulo de elasticidad dinámico de la madera a partir de la frecuencia propia de vibración y de su densidad. Queda regulado por las mismas normas que la clasificación mecánica.

En el comercio de la madera aserrada para uso estructural en España existen varias **marcas o sellos de calidad** voluntarias y garantizan que el fabricante es inspeccionado de manera regular comprobando que el resultado del proceso de calificación se mantiene correctamente. Las más relevantes son:

- Sello de Calidad AITIM para madera aserrada de uso estructural
- Marca de garantía Pino Soria Burgos
- Certificación CTB Sawn Timber (Francia)
- Marca de conformidad alemana U mark (Alemania)
- Norwegian Institute of Wood Technology – NTI (Noruega)

Las **clases resistentes** que encontramos en la madera aserrada en Europa, con el fin de simplificar el proceso de cálculo y de que se encuadren todas las combinaciones de especie, procedencia y calidad -y sujetas a la norma UNE-EN 338-, son las siguientes:

- Coníferas y chopo: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50;
- Frondosas: D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70;

Cuando *C*: *coniferous* y *D*: *deciduous*, términos ingleses para coníferas y frondosas, respectivamente. El número que acompaña a la letra es el valor característico de la resistencia característica a flexión expresada en N/mm<sup>2</sup>.

En el Anexo B.1 (Figura Anexo B.1.1 y B.1.2) se incluyen las tablas donde se recogen los valores característicos de cada clase resistente.

### 3.2 MADERA EMPALMADA

Producto formado por piezas de madera aserrada, previamente clasificada estructuralmente, unidad por empalme mediante unión dentada múltiple en las testas, consiguiendo perfiles de longitudes de hasta 14 m (ventaja respecto a las menores longitudes de la madera aserrada). Se comercializa caracterizada estructuralmente.

Los **materiales** más utilizados en Europa se obtienen del abeto o píceas (*Picea abies* L. Karst.), aunque también se utiliza la madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), abeto (*Abies alba* Mill.) y alerce (*Larix decidua* Miller). En España hay fabricantes que recurren al eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) y al castaño (*Castanea sativa* Mill.).

Los aspectos de fabricación, materiales y especificaciones de la calidad de la madera se recogen en la norma UNE-EN 15497.



*Figura 3.2.1 (izquierda): Detalle de empalme (Fuente: web de Gabarró Hermanos S.A.).*

*Figura 3.2.2 (derecha): Detalle de empalme (Fuente: web de Fordaq).*

La madera empalmada puede lograr longitudes de 14 m, pudiendo alcanzar los 16 bajo pedido. El grueso máximo es de 120 mm y el ancho máximo de 240 mm.

La **gama dimensional** de las escuadrías más frecuente puede observarse en la siguiente tabla:

Ancho (mm)	120	140	160	180	200	240
Grueso (mm)						
60	X	X	X	X	X	X
80	X	X	X		X	X
100	X				X	
120	X				X	X

*Figura 3.2.3: Dimensiones más frecuentes de la madera empalmada.  
(Fuente: a partir de los datos del libro: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)*

El producto más habitual en el mercado europeo se comercializa con una clase resistente C24. Bajo pedido puede encontrarse C30.

La madera empalmada, como producto, está afectada por el RPC y por tanto es de aplicación el marcado CE, el cual es regulado por la norma armonizada UNE-EN 15497.

Existen, a su vez, las siguientes marcas de calidad: Certificado del Instituto Otto-Graf (Stuttgart, Alemania), AB-Bois Massifs Aboutés (Francia).

### 3.3 MADERA MACIZA ENCOLADA

La norma UNE-EN 14080 define la madera maciza encolada como perfiles estructurales de sección rectangular, formados por el encolado de dos a cinco láminas de madera (habitualmente dos o tres –dúos o tríos-), con un espesor superior a 45 mm y menor o igual a 85 mm, dispuestas con la fibra en dirección paralela al eje de las láminas y con la mayor dimensión de la sección transversal no superior a 280 mm.

Comparte los usos estructurales de la madera aserrada y laminada encolada. Se emplea principalmente como vigas, viguetas, pares y correas en luces reducidas, aunque permiten luces y escuadrías mayores que la madera aserrada.

Los **materiales** más utilizados son las maderas de las siguientes especies:

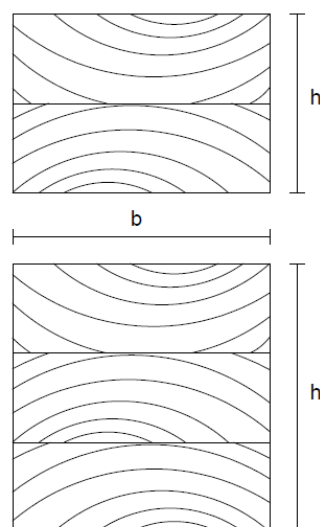
- Abeto o falso abeto (*Picea abies* L. Karst.). La especie más comúnmente utilizada.
- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Abet blanco (*Abies alba* Mill.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arnold spp. *nigra*)
- Pino Oregón (*Pseudotsuga mesziesi* Franco)

En España se emplean también algunas especies frondosas como el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el Roble (*Quercus robur* y *Q. petraea*) y el Castaño (*Castanea sativa*).

En cuanto a **dimensiones**, la longitud máxima es de 18 metros y las escuadrías más habituales para dúos (Figura 3.3.1) y tríos (Figura 3.3.2) son las siguientes:

$\frac{h \text{ (mm)}}{b \text{ (mm)}}$	80	100	120	140	160
100		X			X
120			X		X
140	X			X	
160	X	X	X		X
180	X	X	X		
200	X	X	X	X	
220	X	X	X		
240	X	X	X		

**Figura 3.3.1:** Secciones transversales de dúos  
(Fuente: a partir de los datos del libro: Argüelles, R;  
Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)



**Figura 3.3.3:**  
Disposición de las capas en dúos y tríos.  
(Fuente: a partir de los datos del libro: Argüelles, R;  
Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

$\frac{h \text{ (mm)}}{b \text{ (mm)}}$	180	200	240
120			X
140			X
160		X	X
180	X		X
200	X	X	
220	X		

**Figura 3.3.2:** Secciones transversales de tríos.  
(Fuente: a partir de los datos del libro: Argüelles, R;  
Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

En madera de coníferas una pieza de madera trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego requiere unos 90 o 100 mm de anchura para alcanzar la resistencia R30.

Las **propiedades de resistencia y rigidez** y la densidad del producto se toman iguales a las propiedades de las láminas o se determinan mediante ensayos, siempre de acuerdo a la norma UNE-EN 14080, que también regula el marcado CE. Normalmente, la madera utilizada en la fabricación de madera maciza encolada se encuentra clasificada estructuralmente de acuerdo a la norma UNE-EN 14080-1.

### 3.4 MADERA LAMINADA ENCOLADA

Producto en forma de perfiles formados por el encolado de al menos dos láminas de madera, normalmente de la misma especie, con la fibra en dirección paralela al eje de las mismas. Las láminas pueden estar formadas por una o dos tablas en contacto por los cantos (espesor 6 a 45 mm).

Las estructuras de madera laminada encolada resultan especialmente indicadas en edificios de uso público con grandes luces libres (30 a 70 m), en construcciones de luces moderadas (8 a 14 m) y para soluciones de cubierta de peso propio reducido.

En la norma UNE-EN 14080 se indican las **especies** aceptadas para su fabricación. Sólo se utilizará una especie en la sección de una pieza (abeto rojo y abeto blanco se consideran la misma especie).

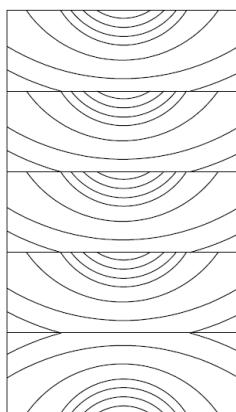
En Europa, la especie más utilizada es el abeto (*Picea abies*), seguido por el pino silvestre. En España también se emplean el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el Roble (*Quercus robur* y *Q. petraea*) y el Castaño (*Castanea sativa*).



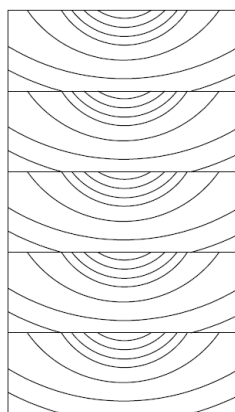
**Figura 3.4.1:**  
Madera laminada encolada.  
(Fuente: Proholz Austria).

Las **dimensiones** no están normalizadas. Los fabricantes parten de las dimensiones de la madera aserrada, por lo que no hay grandes variaciones entre casas. Las anchuras más habituales son: 80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220 mm. Generalmente, el ancho mínimo en madera de coníferas exige 90-100 mm (resistencia al fuego de 30 minutos). La altura máxima de la sección de la pieza ronda los 2400 mm.

La longitud máxima en pieza recta es del orden de 42 m, pero debido a las dimensiones de los vehículos de transporte (4,50 m), es frecuente que la estructura se componga de varias piezas unidas en obra (juntas de transporte).



Caso 1



Caso 2

Las láminas deberán tener el corazón hacia el mismo lado y las láminas extremas deberán tener el corazón hacia el exterior (Caso 1) a excepción de las piezas destinadas a la clase de servicio 1 y 2, que podrán constituirse con las todas las láminas orientadas de igual manera (Caso 2).

**Figura 3.4.2:**  
Orientación de las láminas en la sección transversa.  
(Fuente: elaboración propia a partir de los datos del libro: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)



Se distinguen 7 **clases resistentes** de composición homogénea (todas las láminas son de la misma clase resistente) y otras 7 cuando es combinada (las láminas de los extremos son de una clase resistente superior a las centrales). Se denominan mediante las siglas GL (Glue Laminated Timber) seguidas por un número, que representa la resistencia característica a flexión en N/mm<sup>2</sup>.

*En el Anexo B.2 (Figura Anexo B.2.1 y B.2.2) se incluyen las tablas donde se recogen los valores característicos de cada clase resistente.*

La madera laminada encolada, como producto, está afectada por el RPC y por tanto es de aplicación el marcado CE, el cual es regulado por la norma armonizada UNE-EN 14080:2013, siendo obligatorio desde el 01/12/2011.

Las marcas de calidad más destacadas son:

- Sello de Calidad AITIM para la fabricación de estructuras con MLE.
- Certificado del Instituto Otto – Graf.
- Certificado Acerbois Glulam.
- Sello de calidad APA EWS (EEUU).
- Certificado del AITC, American Institute of Timber Construction (EEUU).

### 3.5 MADERA MICROLAMINADA

Perfiles de sección rectangular o tableros formados por chapas de madera de unos 3 mm de espesor con la fibra dispuesta en la misma dirección. En inglés se conoce como LVL (Laminated Veneer Lumber).



*Figura 3.5.1 (izquierda) y Figura 3.5.2 (derecha): Tableros de madera microlaminada, también conocida como Kerto LVL. (Fuente: web de Mestä Wood).*

En sus aplicaciones podemos encontrar viguetas de forjado, normalmente ocultas para la protección contra el fuego, pared de cubierta, vigas y cargaderos. También en grandes luces como pórticos (10-20 m) o cerchas (15-45 m). Además, se utiliza en la prefabricación de viguetas en doble T o paneles prefabricados ligeros para forjados y cubiertas.

Los **materiales** empleados para su fabricación resultan de diferentes especies de coníferas, entre las cuales se pueden destacar el abeto (*Picea abies* L. Karst.) y el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en Finlandia, y el Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* Franco) y el Pino amarillo del Sur (*Southern pine*), en Norteamérica.

Las **dimensiones** comerciales de la madera microlaminada fabricada en Europa son las siguientes:

- Grosores: 21, 24, 27, 33, 36, 39, 45, 51, 57, 63, 69 y 75 mm. Todas para Kerto S y Q, excepto 36 y 75 mm (sólo en S) y 69 mm (solo en Q).
- Anchuras: 200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500 y 600 mm.
- Longitud: a medida con un máximo de 23 m.

En Europa la madera microlaminada de Kerto se fabrica en dos tipos:

- *Kerto-S*: todas las láminas orientadas en la misma dirección. Adecuado para vigas, barras de estructura en celosía, etc.
- *Kerto-Q*: 20% de las láminas orientadas perpendicularmente, presentando una mayor estabilidad dimensional frente a los cambios de humedad. Utilizado principalmente como tablero estructural o, menos frecuentemente, para pilares de pórticos, por ejemplo.

*En el Anexo B.3.1 (Figura Anexo B.3.1) se incluye la tabla donde se recogen los valores característicos del Kerto-S y Q.*

Debido a la orientación de las fibras se pueden diferenciar dos posiciones de trabajo en relación a la flexión: de canto y de cara:

- *De canto*, en las vigas, cuando las láminas quedan en dirección perpendicular al eje de giro por flexión.
- *De cara*, en los tableros, cuando las láminas quedan en dirección paralela al eje de giro por flexión.

Además, se diferencian dos direcciones en las solicitaciones axiales de tracción y compresión:

- *Paralela* a la fibra cuando las chapas externas son paralelas a la dirección del esfuerzo.
- *Perpendicular* a la fibra cuando las chapas externas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo.

La nomenclatura de las propiedades en relación con la orientación de las chapas y la posición de las piezas viene recogida en la norma UNE-EN 14374.

*En el Anexo B.3.2 (Figura Anexo B.3.2.1 y B.3.2.2) se incluye la tabla donde se describe la nomenclatura detallada según el certificado VTT del fabricante.*

La madera microlaminada, como producto, está afectada por el RPC y por tanto es de aplicación el marcado CE, el cual es regulado por la norma armonizada UNE-EN 14374, siendo obligatorio desde el 01/09/2006.

### 3.6 MADERA RECONSTITUIDA

Son productos (varios y de uso estructural) en forma de perfiles de sección rectangular, fabricados con chapas, tiras o virutas de madera encolada. De propiedades mecánicas elevadas y muy homogéneas y que permiten aprovechar trozas o recortes de madera aserrada o tableros contrachapados. Los tipos más habituales son los siguientes:

- **Perfiles de tiras de madera (PSL, Parallel Strand Lumber):**

Producto de prensado y encolado de recortes de chapa en forma de tiras colocadas paralelamente al eje longitudinal. Las tiras tienen una longitud de hasta 2,6 m, una anchura de unos 13 mm y un grueso de 2-3 mm. Utiliza madera de coníferas de Norteamérica (Pino Oregón o Pino amarillo). Usos similares a los de la madera laminada. En España llega con un máximo de 12 m por las limitaciones de transporte. Las escuadrías estándares se recogen en la siguiente tabla:

Canto (mm) Ancho (mm)	89	133	178	241	292	318	356	406	457
45				X	X	X	X		
89	X	X	X	X	X	X	X	X	X
133		X	X	X	X	X	X	X	X
178			X	X	X	X	X	X	X

*Figura 3.6.1: Tabla de escuadrías estándares de los perfiles de tiras de madera.  
(Fuente: a partir de los datos del libro: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera.  
Bases de cálculo)*

- **Perfiles de virutas de madera laminadas (LSL, Laminated Strand Lumber):**

Similar al proceso del PSL, pero con virutas más grandes y provenientes del chopo. Dichas virutas se disponen siguiendo la longitud longitudinal del tablero, las cuales tienen una anchura de entre 5 y 30 mm y una longitud de hasta 300 mm.

Los tableros tienen unos similares a los de la madera laminada. Suelen tener una anchura de 2400 mm (se pueden cortar para obtener la dimensión requerida), y longitudes de 15 m.

El producto "Lignum Strand" (LSL) se fabrica en forma de tablero con gruesos entre 30 y 100 mm, anchura máxima de 620 mm y longitud de 7,5 m.

- **Perfiles de macro virutas de madera orientadas (OSL, Oriented Strand Lumber):**

Similar al LSL, pero con virutas más estrechas y largas. Todas las capas de virutas tienen la misma dirección paralela a la dirección longitudinal. La longitud de las virutas oscila entre los 472 y 945 mm, con una anchura de 2-5 mm.

Este producto tiene aplicaciones similares a las de la madera maciza encolada, la madera laminada encolada o la madera microlaminada.

*En el Anexo B.4 (Figura Anexo B.4) se incluye la tabla donde se indican los valores característicos de las propiedades físicas y mecánicas del PSL "Parallam" de acuerdo con el planteamiento de cálculo del Eurocódigo 5, norma UNE-EN 1995-1-1*



### 3.7 TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

Son productos obtenidos mediante el encolado o aglomerado de listones, chapas, virutas, partículas o fibras de madera, de gran superficie y poco espesor. Se emplean como cerramiento en forjados, cubiertas, muros y tabiques. Resisten estructuralmente cargas perpendiculares a su plano y en algunos casos, acciones horizontales sobre la estructura.

Existe una gran variedad de tableros derivados de la madera que pueden utilizarse estructuralmente. A continuación, los más destacados:

- **Tableros de madera maciza (SWP, Solid Wood Panel):**

fabricados con tablas, tablillas o listones de madera unidos entre sí por encolado, machihembrado o por un revestimiento de chapa encolada. Pueden ser monocapa o multicapa (3-5).

Las especies más utilizadas son el Abeto, Pino amarillo, Pino radiata y Castaño.



*Figura 3.7.1: Tablero de listones encolados  
(Fuente: web de Tableros Huertas)*

Se pueden diferenciar tres tipos<sup>2</sup> de SWP:

- SWP/1: para ambiente seco (clase de servicio 1).
- SWP/2: para ambiente húmedo (clase de servicio 2).
- SWP/3: para ambiente exterior (clase de servicio 3).



*Figura 3.7.2: Tablero machihembrado  
(Fuente: web de Novatop)*

Las dimensiones más habituales son:

- *Tableros monocapa*: longitud de 970, 1000, 1970 y 2000 mm; anchura de 500 mm y grueso de 22 y 27 mm.
- *Tableros multicapa* (longitud x anchura): 2050 x 500 mm.

Los espesores varían en función del tipo de tablero:

*Tricapa espesor*: 12, 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50 y 60 mm.

*Multicapa espesor*: 35, 42, 50 y 52 mm.

---

<sup>2</sup> En la norma UNE-EN 13353 se clasifican en función de su aptitud para las clases de servicio definidas en la normativa (UNE-EN 1995-1-1 o CTE).

▪ **Tableros contrachapados:**

Tablero formado por un número impar de chapas encoladas, dispuestas simétricamente y de manera que la dirección de la fibra de una chapa sea perpendicular a la siguiente. Las especies más habituales son el Abeto, Pino silvestre, Pino marítimo, Pino radiata, Pino Oregón, Abedul y Pino amarillo del Sur.

Se pueden clasificar en tres tipos<sup>3</sup>:

- Para ambiente seco (EN 636-1).  
Clase de servicio 1.
- Para ambiente húmedo (EN 636-2).  
Clase de servicio 2.
- Para ambiente exterior (EN 636-3).  
Clase de servicio 3.



*Figura 3.7.3: Tablero contrachapado  
(Fuente: web de Tableros Gonzalo)*

Las dimensiones más habituales son 1220 x 2440 mm con un espesor de 8-25 mm.

▪ **Tableros de partículas:**

Tableros fabricados con partículas de madera (astillas, partículas, serrín o virutas) y/u otros materiales lignocelulósicos en forma de partículas (fibras de cáñamo, lino, paja, etc), con la adición de un polímero aglomerante mediante la aplicación de presión y calor. Las especies más utilizadas para este tipo de tableros son el abeto, pino, haya, chopo, roble y castaño, principalmente.

Las normas UNE-EN 309 y UNE-EN 312 establecen siete tipos (P1 a P7), pero sólo dos tienen función estructural: P4 (tableros de partículas estructurales para ambiente seco) y P7 (tableros de partículas estructurales de altas prestaciones en ambiente húmedo).

Las dimensiones son muy variables, pero las más habituales son: 2440 x 2050 mm, 4880 x 2050 mm y 3660 x 1830 mm. Los espesores más frecuentes son 16, 19, 22 y 30 mm.



*Figura 3.7.4: Tablero de partículas  
(Fuente: web de Gabarró Hermanos S.A.)*

---

<sup>3</sup> Los tableros contrachapados se clasifican en los tres tipos de acuerdo con la norma UNE-EN 636 según su calidad de encolado.

▪ **Tableros de virutas orientadas (OSB, Oriented Strand Board):**

Fabricado por la aplicación de presión y calor a virutas de madera aglomerada entre sí mediante un adhesivo, de dimensiones 0,60 mm de grueso, 75-130 mm de longitud y 35 mm de anchura. Se orientan en dirección paralela a la longitud del tablero en las capas exteriores mientras que las interiores son perpendiculares. Las especies más utilizadas son: Pinos, Pino marítimo, Pino Oregón, Chopo y Abedul.

Según la norma UNE-EN 300, se clasifican en cuatro tipos (OSB1 a OSB4), pero solo los tres últimos tienen uso estructural: OSB 2 (tableros estructurales en ambiente seco), OSB 3 (tableros estructurales en ambiente húmedo) y OSB 4 (tableros estructurales de altas prestaciones en ambiente húmedo).

Las dimensiones más habituales (longitud x anchura) son 2440 x 1200 mm, 2440 x 1220 mm, y 3660 x 1220 mm, mientras que los espesores: 6, 8, 9, 11, 15, 18, 22, 25 y 38 mm.



*Figura 3.7.5: Tablero OSB  
(Fuente: web de Easy Cencosud)*

Las **propiedades mecánicas** de los tableros derivados de la madera (de alguno de sus productos), concretamente sus **valores característicos**, vienen recogidas en las normas UNE-EN 12369-1 (tableros OSB), UNE-EN 12369-2 (clases resistentes de los tableros contrachapados) y UNE-EN 12369-3 (tableros de madera maciza).

El tablero derivado de la madera, como producto, está afectado por el RPC y por tanto es de aplicación el marcado CE, el cual es regulado por la norma armonizada UNE-EN 13986, siendo obligatorio desde su entrada en vigor el 01/06/2006.

La marca o sello de calidad más extendido en España es el Sello de Calidad de AITIM.

### 3.8 PANELES CONTRALAMINADOS DE MADERA

Se trata del producto transformado de la madera con fines estructurales más extendido en la construcción actual de edificios en altura en madera.

Generalmente denominado CLT por sus siglas en inglés (Cross Laminated Timber). Se trata de un panel formado por varias capas de madera aserrada encoladas con uso estructural, de forma que la orientación de las fibras de las capas contiguas sea perpendicular (90°). El número mínimo de capas que componen el panel es tres, siempre serán impares y el rango de capas más habitual es de 3 a 15.



*Figura 3.8.1: Paneles de madera contralaminada o CLT (Fuente: web de Egoín).*

En algunos casos, dos capas adyacentes (como máximo) pueden estar dispuestas con la misma orientación de las fibras, siempre que la dirección del panel sea paralela a la dirección de las fibras de la capa doblada.

Los paneles de CLT pueden trabajar como muros, forjados y cubiertas (en higrometrías bajas o medias), en clases de servicio 1 y 2. Son utilizados para viviendas o construcciones industriales de hasta 3 o 4 alturas.

Habitualmente se utiliza madera de coníferas. La madera aserrada se obtiene de las especies: picea (la más utilizada), pino, abeto o alerce. La madera empleada está seca, cepillada y clasificada estructuralmente y las clases resistentes más habituales se comprenden entre la C16 y la C24. Se pueden utilizar diferentes calidades de madera dentro de un mismo panel.

Las **dimensiones máximas** de fabricación son las siguientes: longitud 15-25 m, anchura, hasta 5 m, y un espesor que puede llegar hasta los 600 mm.

El espesor de las piezas en cada capa varía según el fabricante (13, 24, 26, 30, 34, 40, 45 y 50 mm), siendo más común el rango 10-40 mm. La anchura de tabla suele ser de entre 80-240 mm, de tal forma que la ratio anchura/espesor sea superior a 4.

Debido a que se pueden lograr longitudes de 25 m, lo que se hace es empalmar longitudinalmente las tablas, mediante unión dentada. Las tablas de las capas transversales son piezas completas sin empalme longitudinal.

Las **propiedades mecánicas** de este producto deben ser aportadas por el fabricante en base al Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE) y conforme al CUAP nº 03.04/06 (regula el marcado CE, previa solicitud del fabricante).

Los paneles de madera contralaminada (CLT), como producto, están afectados por el RPC y por tanto es de aplicación el marcado CE y Declaración de Prestaciones. Existen, a su vez, marcas de calidad como el Sello de Calidad AITIM y el Sello MPA del Otto-Graf Institut de Stuttgart.



**Figura 3.8.2:** Vista de paneles contralaminados en edificio de madera en Hondarribia, Guipúzcoa. (Fuente: revista *Arquitectura & Madera* noviembre 2017).

En el Anexo B.5 (Figura Anexo B.5), a modo indicativo, se incluyen los valores característicos de la resistencia y rigidez de estos paneles.



#### 4. SISTEMAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS CON MADERA

Actualmente, pueden distinguirse tres tipos de sistemas para la construcción de edificios de madera con las técnicas y tecnologías del siglo XXI:

##### 4.1 PANEL SYSTEMS

Los sistemas de paneles son aquellos en los que las cargas verticales y horizontales son cargadas por una serie de paneles-muro portantes espaciados regularmente en dos direcciones del plano. Más frecuentemente, estos paneles son de madera contralaminada (CLT) y normalmente están dispuestos y configurados de igual manera en cada piso del edificio.

Debido a que los sistemas de paneles tienden a permitir una flexibilidad limitada para la reconfiguración durante la vida del edificio, son generalmente más adecuados para programas residenciales, donde las necesidades de los usuarios son fijas.

Sin embargo, tal y como indican Green y Taggart (2017), arquitectos e ingenieros estructurales pueden adaptar estos principios básicos de diferentes maneras, como aumentar los vanos interiores con vigas de acero de refuerzo, proporcionando mayor flexibilidad para la reconfiguración interior (The Woodcube, Hamburgo, Alemania), o usar paneles-muro con núcleo de CLT que han sido instalados en fábrica con puertas y ventanas, aislamiento y acabado exterior e interior antes de ser enviados a obra (Strandparken Hus B, Sundyberg, Suecia).

En el noroeste de nuestra península existen edificios realizados con este sistema de paneles, siendo construidos enteramente mediante paneles de muros y forjados portantes, como el caso del edificio de Muros de Nalón, en Asturias (Figura 4.1.1).



*Figura 4.1.1: Imagen ejemplo de Panel System clásico.  
Edificio PassivHaus en Muros de Nalón, Asturias, 2019, en ejecución.  
(Fuente: web de Egoín)*

## 4.2 FRAME SYSTEMS

En los *Frame Systems*, o sistema de pórticos, las cargas verticales son portadas por un sistema interconectado de vigas y columnas. Se prestan naturalmente a programas constructivos que requieren espacios interiores mayores y más flexibles, como comercios, edificios institucionales o de montaje.

Estos sistemas de pórticos proporcionan la oportunidad de mayores áreas de acristalamiento y, por lo tanto, de una expresión arquitectónica diferente a la asociada con los edificios residenciales. También requieren medidas adicionales, tales como arriostramiento cruzado o muros a cortante, para abordar los problemas de estabilidad lateral.

Por ejemplo, en el Wood Innovation and Design Centre (Prince George, Canadá), la estabilidad lateral para el poste-viga de madera laminada es proporcionada por el núcleo del ascensor y escaleras.



*Figura 4.2.1: Wood Innovation and Design Centre, Prince George, Canadá, de Michael Green Architecture (MGA). (Fuente: web de MGA)*

En el área de estudio de esta investigación, el noroeste de nuestra península, un ejemplo sería el edificio destinado al Ayuntamiento de Ikaztegieta, en Guipúzcoa. Al tratarse de un edificio institucional, las grandes luces y espacios abiertos dentro del inmueble son requeridos, y mediante un sistema de columnas y vigas, o *frame system*, es posible llevarlo a cabo.



*Figura 4.2.2:  
Edificio del  
Ayuntamiento de  
Ikaztegieta,  
Guipúzcoa. (Fuente:  
Astazaldi Arkitektura)*





*Figura 4.2.3: Ejemplo de las unidades poste-viga presentes en el edificio. La mayoría quedaron ocultas tras la realización de los acabados. (Fuente: Astazaldi Arkitektura)*

También, los *Frame Systems*, o sistemas de pórticos, como se explica en la página anterior, favorecen o proporcionan mayores áreas de acristalamiento, como el ejemplo que puede verse en la Figura 4.2.4.

Con un sistema donde los muros de CLT fueran los únicos elementos verticales portantes, no podrían darse estas soluciones que un pórtico sí puede proporcionar.



*Figura 4.2.4: Grandes ventanales acristalados en la planta baja del edificio. (Fuente: Astazaldi Arkitektura)*

### 4.3 HYBRID SYSTEMS

Además de satisfacer los requerimientos del programa, el diseño estructural se preocupa también de la eficiencia y economía de los medios. En algunos casos, una estructura de pórtico o panel de madera pura puede no proporcionar una solución óptima.

Los sistemas híbridos, o mixtos, en los que diferentes materiales y soluciones estructurales son usados en combinación, son comunes. La elección puede deberse a razones arquitectónicas, estructurales, medioambientales o económicas, o por prácticas constructivas locales o requisitos nacionales.

Green y Taggart (2017) exponen diferentes casos de usos de este tipo de sistema, como el LCT One de Dornbirn, Austria, en el que se usa un sistema simple de paneles de forjado compuesto de madera-hormigón y paneles-muro prefabricados incorporando columnas de madera laminada, combinación que agiliza el proceso de erección y minimiza el uso de material. Otro ejemplo sería el del edificio Wenlock Mixed-Use Building de Londres, que tiene una planta baja y un núcleo de circulación de hormigón, con una superestructura de pórticos de acero, creando voladizos que articulan la fachada, y paneles CLT para muros y forjados.

En el noroeste de nuestra península, también existen ejemplos de edificios realizados con sistema híbrido o mixto. En Hondarribia, Guipúzcoa, el estudio pamplonés TYM Asociados proyectó dos edificios que conforman la promoción en CLT más grande del suroeste europeo. La estructura de madera contralaminada se erige sobre una serie de pórticos y losas de hormigón armado que conforman la primera altura.



**Figura 4.3.1:** Vista de la combinación de estructuras de hormigón armado y de paneles de CLT.  
(Fuente: Carmelo Fernández Militino, director de TYM Asociados)



## 5. EDIFICIOS ACTUALES EN EL NOROESTE PENINSULAR

La construcción de edificios en España, que lleva décadas atrapada en la cultura del hormigón, empieza a mirar a los países del norte y centro de Europa, grandes experimentados en la construcción con madera, con el fin de sumarse a esta corriente que ya va formando parte del paisaje de muchas ciudades europeas o norteamericanas. Se trata de un movimiento necesario medioambientalmente, pero también legalmente, dado que la directiva europea obliga a todos los edificios a tener un consumo de energía casi nulo a partir de 2020. Con este requisito imprescindible, quedarán a la vista las enormes ventajas de las estructuras y cerramientos con madera.

La realidad es que España está a años luz de otros países, donde ya existen construcciones que llegan hasta las 18 plantas, como son los casos de la torre Mjøsa en Trondheim, Noruega, y el edificio Brock Commons en Vancouver, Canadá. Son tan solo unos ejemplos concretos de hasta donde se ha podido llegar. No obstante, sólo son el principio, ya que pronto se quedarán pequeños a medida que se avanza en el desarrollo de la madera. En un par de décadas está previsto que el W350 rasque los cielos de Tokio a una altura de 350 metros. Construir en altura con madera es posible y empieza a no tener límites.

El sector, en nuestro país, está convencido de que la madera va a desempeñar un papel protagonista en el futuro de la construcción y que se acabará implantando en España. De hecho, en nuestro país existen numerosas edificaciones realizadas en madera llevadas a cabo en la última década, así como edificios proyectados que serán levantados a corto plazo, constituyendo la primera oleada de construcción en altura con madera en España.

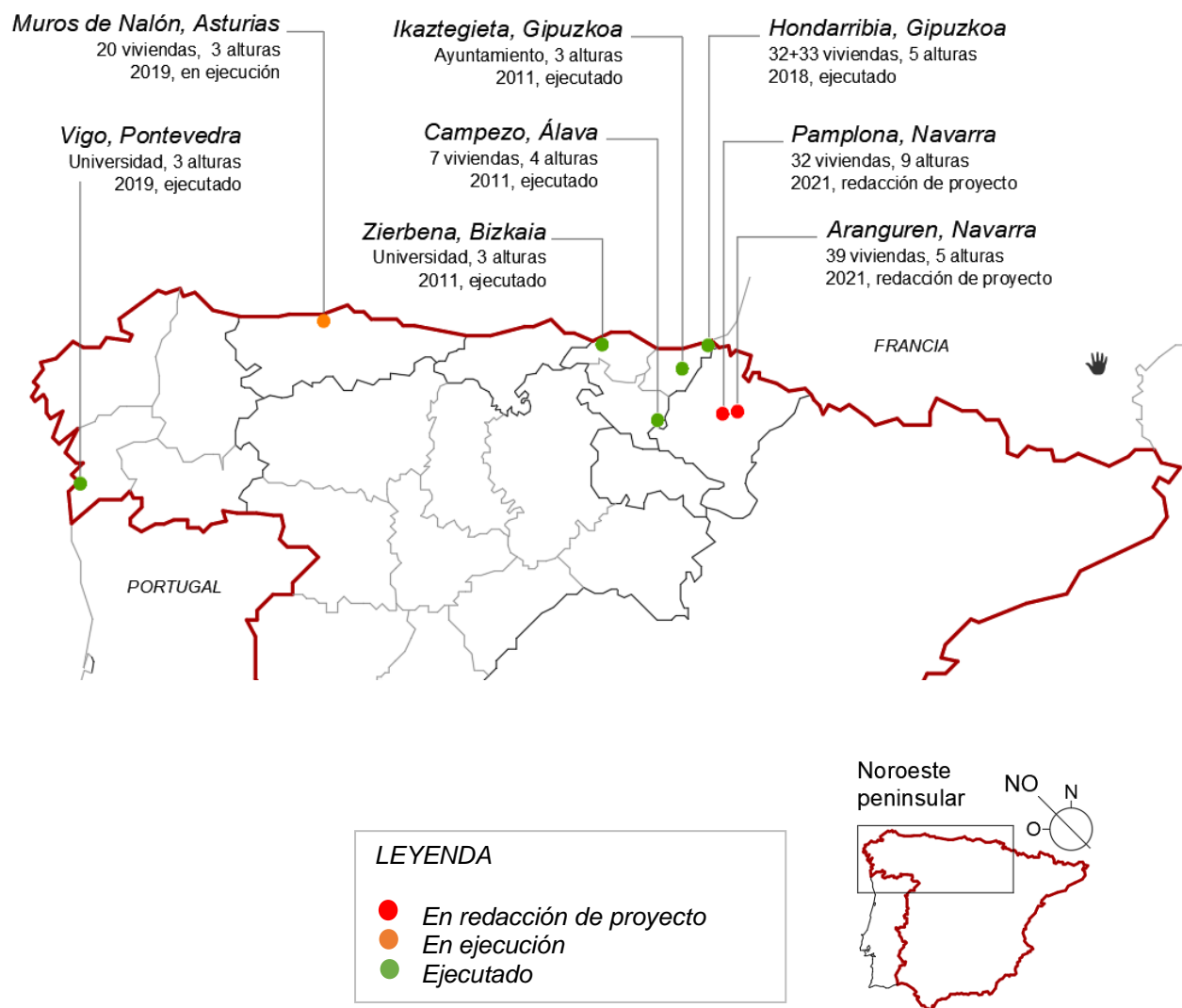
En mayo de 2019 se celebró en Pamplona, Navarra, el primer fórum internacional de construcción con madera en España (Forum Holzbau), constituyendo un hecho sin precedentes en el impulso de la construcción con madera en España. El congreso reunió a numerosas personalidades relevantes en el ámbito de la arquitectura, ingeniería y economía, así como a empresas líderes en el sector de la madera en construcción, y se trataron temas desde el estado de nuestros bosques y la materia prima, pasando por el análisis de edificios representativos, hasta los proyectos en madera que están por venir y el futuro de la construcción con este material.

Este importante evento puede proporcionar un empuje en el desarrollo de este movimiento en España, que aún es joven en comparación a países europeos, pero que está entrando cada día con más fuerza en el sector de la construcción.

Así, durante este proceso de investigación acerca de la construcción en altura con madera en esta zona concreta peninsular, he podido comprobar cómo el País Vasco se sitúa en cabeza en términos de vanguardia y cantidad en el empleo de la madera para realizar edificios en altura, contabilizando hasta cinco proyectos ya ejecutados.

En resumen, he podido ubicar diferentes proyectos a lo largo de la cornisa cantábrica y Navarra, donde se está desarrollando una promoción a nivel pública importante para la consolidación en el mercado actual de una construcción con estándares de casi nulo consumo energético, donde la madera es fundamental.

Mediante el siguiente mapa, a modo de infografía, se pretende señalar y ubicar los edificios de madera paradigmáticos de esta zona peninsular. Como se puede apreciar, existen edificios ejecutados, en construcción y proyectos que se pretenden ejecutar a corto plazo.



**Figura 5.1:**  
*Infografía sobre la ubicación de los edificios realizados en madera seleccionados para esta investigación en el noroeste de la península.*  
(Fuente: elaboración propia).

Los edificios a continuación, y en orden cronológico, son una selección de los edificios más representativos de la construcción en altura con madera en el noroeste peninsular, destacando edificios pioneros, así como promociones de gran volumen y proyectos a corto plazo de relevancia en el plano nacional.

## 5.1 SANTA CRUZ DE CAMPEZO, ÁLAVA



*Figura 5.1.1: Vista del edificio ejecutado.  
(Fuente: O+A Arquitectos)*

**2011, Edificio de viviendas,**  
ejecutado  
Santa Cruz de Campezo (Álava)  
*Arqts. Nerea Otaduy, Ana Sancho, Ricardo  
Aristizábal*

Considerado como el primer edificio residencial de varias plantas con usuarios diferentes realizado en España, después de la generalización absoluto del hormigón y el acero durante el último siglo en la construcción.

Consta de cinco plantas. La planta inferior debe salvar una antigua muralla, por lo que se planteó un sistema de pilares y vigas metálicas que forman un soporte sobre el que se erigen el resto de plantas con paneles de madera contralaminada.

**Para una información más desarrollada y detallada en el plano técnico-constructivo, visitar el apartado 6.1,** donde se analiza el proceso constructivo y los elementos estructurales de madera del edificio.

## 5.2 IKAZTEGIETA, GUIPÚZCOA

**2011, Ayuntamiento de Ikaztegieta,**  
ejecutado  
Ikaztegieta (Guipúzcoa)  
*Estudio Astazaldi Arkitekura*

La singularidad de este edificio reside en que, a diferencia del edificio anteriormente expuesto, se construyó por primera vez en España con maderas autóctonas, procedentes de los bosques del País Vasco. Además, el edificio fue diseñado con soluciones convencionales, y posteriormente tuvo que ser adaptado para ser construido en madera.



*Figura 5.2.1: Vistas del edificio.  
(Fuente: Astazaldi.Arkitektoak)*

Por este motivo, se trata de un edificio pionero, gracias a la valentía del equipo de Astazaldi Arkitektura, que decidió apostar por la materia prima autóctona. De este modo, se puso el foco en la importancia de favorecer la construcción con madera en el país a partir de fomentar el aprovechamiento de los bosques autóctonos.

Debido a la singularidad del proyecto, en el **capítulo 6.2 se realiza un análisis técnico en detalle** donde se puede conocer el proceso y las técnicas constructivas para un mejor estudio del edificio.

### 5.3 ZIERBENA, VIZCAYA



2011, **Universidad DigiPen Bilbao**,  
ejecutado  
Zierbena, (Vizcaya)  
Arqt, Ander de la Fuente

*Figura 5.3.1: Vista del edificio DigiPen Bilbao.  
(Fuente: web de Egoín)*

Se trata de uno de los primeros edificios en altura realizados mediante paneles de CLT. Junto con Santa Cruz de Campezo e Ikaztegieta, los tres ejecutados en 2011, son considerados los primeros edificios en altura realizados con madera en España. A día de hoy, y tras haber podido reunirme con los autores de dichos inmuebles, sigue sin estar claro cuál de esos tres edificios puede ser considerado como el primero, en solitario.

Nace de la necesidad de crear un Instituto Tecnológico cuando la Universidad DigiPen escoge Bilbao en 2010 como una de sus tres sedes mundiales. Egoín S.L. fue la empresa encargada de la producción de los paneles de CLT (su patente EGO CLT) y su montaje en la obra. La envolvente dispone de fachada ventilada de madera y la cubierta consta de una solución ajardinada.

Desde el comienzo de los montajes de los paneles hasta la total finalización del edificio transcurrió un tiempo de 60 días, suponiendo un hito en la construcción de estructuras y edificios en España. En su momento fue el edificio de madera más grande de España, con una superficie de 2500 m<sup>2</sup> y utilizándose 1230 m<sup>3</sup> de madera para su construcción.

Es recomendable visualizar el vídeo<sup>4</sup> del proceso: “Egoín – DIGIPEN (Zierbana)” en Youtube, donde se muestran todos los trabajos resumidos en unos minutos, a través de las cámaras de la empresa local productora e instaladora de estructuras de madera, Egoín S.A.

---

<sup>4</sup> URL del vídeo del proceso constructivo: <https://www.youtube.com/watch?v=A5mnkddiAHA&t=121s>

## 5.4 HONDARRIBIA, GUIPÚZCOA

2018, **Dos edificios de viviendas**,  
ejecutado  
Hondarribia (Guipúzcoa)  
Estudio TYM Asociados:  
Arqts, Carmelo Fernandez Militino, Sara Pérez

*Figura 5.4.1: Render de los dos edificios. (Fuente: TYM Asociados)*



En 2018 se ejecuta la mayor promoción en madera del suroeste de Europa, en Hondarribia (Guipúzcoa), que consta de dos edificios en forma de "L" que albergan 32 y 33 viviendas cada uno, para un total de 65.

La estructura bajo rasante hasta el forjado interior de la primera es una solución convencional con pórticos y losa de hormigón armado. A partir de ahí, toda la estructura es de madera, con paneles contralaminados y vigas de madera laminada, lo que hace que este edificio se ejecute siguiendo un sistema híbrido, o *hybrid system*, de hormigón armado y madera.

Para conocer con más detalle el proceso constructivo de este singular proyecto, **visitar el apartado de análisis técnico: capítulo 6.3.**

## 5.5 VIGO, PONTEVEDRA



2019, **Equipamiento público**  
**Edificio I+D y sede de la U. de Vigo**,  
ejecutado  
Vigo (Pontevedra)  
Ábalo Alonso arquitectos

*Figura 5.5.1: Infografía del aspecto final. (Fuente: Madergia)*

Promovido por la Universidad de Vigo para impulsar su presencia en el centro de la ciudad. El proyecto fue adjudicado al estudio Ábalo Alonso arquitectos tras la realización de un concurso para la construcción de un edificio institucional y de investigación y desarrollo, en el que se valoraba especialmente la calidad arquitectónica y la sostenibilidad.



El proyecto, que ha tenido que justificar el cumplimiento de las condiciones estéticas que establece el Plan Especial de Protección y Reforma Interior del Casco Vello de Vigo, consta de una superficie construida de 1415 m<sup>2</sup> y una superficie útil de 1175 m<sup>2</sup> en cuatro alturas.

Para la estructura se utilizaron diferentes productos de madera estructural, como paneles contralaminados CLT en muros de carga, forjados y escalera. También se utilizó madera laminada de abeto rojo en cubierta y laminada de pino silvestre tanalizado, que puede apreciarse en fachada en forma de maineiles.

**La información técnica detallada puede consultarse avanzando al capítulo 6.4.**

## 5.6 MUROS DE NALÓN, ASTURIAS

2019, **Edificio de viviendas**,  
en ejecución  
Muros de Nalón (Asturias)  
Gobierno del Principado de Asturias,  
Arqt. Cristina Fernández Somoano



*Figura 5.6.1:*  
*Render del edificio.*  
*(Fuente: web de Iguar)*

Como indica Egoín S.A. en su página web (2019), en Muros de Nalón se está construyendo el primer bloque de viviendas de promoción pública energéticamente eficiente de España con certificación **PassivHaus**, estándar internacional que promueve un consumo energético muy bajo.

Las viviendas construidas por Egoín con soluciones estructurales en madera de pino (*Pinus Radiata* o *Insignis*) procedente del País Vasco, se estima que reduzcan en un 75 % las necesidades de calefacción y refrigeración, suponiendo un ahorro económico cercano al 50% en la factura energética anual.

El proyecto consiste en un total de 20 viviendas de protección pública en régimen de alquiler, cuentan con 50 m<sup>2</sup> repartidos en dos habitaciones, salón, cocina, baño y tendedero, además de trastero. El edificio tiene unas dimensiones de 31,8 x 23,2 m en planta y se estructura en cuatro cuerpos, con bajo y dos alturas, situados alrededor de un gran patio interior.

Egoín ha sido la empresa encargada de ingeniería y de la fabricación de los productos estructurales contralaminados, vigas laminadas, así como de su montaje, el cual se ha resuelto mediante muros y forjados estructurales de madera contra laminada (CLT) y dinteles de madera laminada encolada fabricada con “*Pinus Radiata*” de Euskadi.



*Figura 5.6.2: Imagen de la construcción en fase de montaje de paneles de planta baja. (Fuente: web de Egoín)*

Egoín S.A. ha sido la empresa encargada de ingeniería y de la fabricación de los productos estructurales de CLT que conforman los muros y forjados estructurales, y vigas laminadas para los dinteles, con “Pinus Radiata” de Euskadi, para un total de 440 m<sup>3</sup> de CLT y 10 m<sup>3</sup> de madera laminada encolada transportados en 9 camiones. La fase de montaje del bloque de viviendas ha tenido una duración de 3 semanas, lo que ha permitido evitar las emisiones de más 450 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Desde Egoín creen que “el proyecto de Muros de Nalón contribuye a la eficiencia energética de nuestro parque inmobiliario y ayuda a una nueva forma de construcción que reduce de forma drástica nuestro consumo en la edificación, que es uno de los mayores consumidores de energía a nivel estatal” (Unai Gorroño, director comercial de Egoín).



*Figura 5.6.3.: Imagen tomada desde un dron, donde se puede apreciar casi la totalidad de la estructura de paneles de CLT ejecutada. (Fuente: web de Egoín)*

## 5.7 PAMPLONA Y ARANGUREN, NAVARRA



2021, **Edificio de viviendas**, en proyección  
Pamplona (Navarra)  
*Nasuvinsa (sociedad pública del Gobierno de Navarra) y Ayuntamiento de Pamplona*

Edificio de viviendas de promoción pública que constara de 32 viviendas para personas de mayores de 65 años, así como dos plantas bajas para un centro comunitario y una jubiloteca, y dos plantas sótano.

El edificio constará de una estructura de hormigón armado hasta la segunda planta baja, que actuará, a su vez, como asiento y dotará de estabilidad al resto de plantas.

De este modo, se prevén 9 plantas realizadas con paneles de CLT sobre la estructura de hormigón, donde la primera albergará los servicios comunitarios de los apartamentos y el resto, 32 viviendas VPO, convirtiéndose así en el edificio más alto construido con madera contralaminada.

*Figura 5.7.1: Infografía del aspecto final del edificio.  
(Fuente: Alberto Bayona - Nasuvinsa)*

2021, **Edificio de viviendas**, en proyección  
Aranguren (Navarra)  
*Nasuvinsa (sociedad pública del Gobierno de Navarra)*

Edificio de 39 viviendas de protección oficial en el municipio navarro de Aranguren, parcela nº 27 en Entremutilvas, a 1 km de Pamplona, realizadas mediante estructura mixta de madera y metal.

El proyecto se encuentra en fase de redacción por la promotora pública Nasuvinsa S.A., y todavía no se dispone de material gráfico. No obstante, se conocen algunos datos de la promoción, como que la estructura será mixta metálica-madera, que los pilares serán metálicos, las vigas de madera laminada y los forjados los conformarán paneles de CLT.

Asimismo, las pantallas de ascensores serán de hormigón armado y la envolvente se presenta como una fachada ventilada de madera de pino rojo termotratada con acabado gris oscuro.



## 6. ANÁLISIS TÉCNICO DE EDIFICIOS PARADIGMÁTICOS

### 6.1 VIVIENDAS EN SANTA CRUZ DE CAMPEZO, ÁLAVA

#### Proyecto

Edificio de cuatro plantas, siete viviendas, construido en CLT

#### Ubicación

C/ La Villa, 24-26, Santa Cruz de Campezo (Álava)

#### Arquitectura y dirección de obra

Estudio O+A Arquitectos  
Nerea Otaduy, arquitecto  
Ana Sancho, arquitecto  
Ricardo Aristizabal, arquitecto  
Aitor Royo Mendiguren, arq. técnico

#### Promoción

Sociedad Arabarri

#### Construcción

Bidailan Construcciones S.L

#### Construcción en madera

EGOIN S.L  
Asistencia técnica: KLH-Austria  
Suministrador paneles: Stora Enso



*Figura 6.1.1: Fachada norte. Vista del acabado final. (Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)*



Las dos imágenes con las que comienza este análisis, y a modo de presentación del edificio, muestran las dos fachadas del mismo. A la izquierda, la fachada sur, que da a la calle superior. En la parte de abajo, la fachada norte, desde la calle inferior.

La denominación de calle inferior y superior no es casual. Entre ambas calles existe un desnivel considerable, equivalente a dos alturas del edificio.

Desde la fachada sur o calle superior se accederá a las plantas 0, 1, 2 y bajocubierta. Desde la norte, o calle inferior, a las plantas -1 y -2 (desde el acceso lateral del pasadizo entre inmuebles).

Por tanto, no solo se presentó el condicionante de un gran desnivel, sino también el de un espacio delimitado, puesto que el solar se encuentra entre dos edificios existentes.

**Figura 6.1.2:** Vista de la fachada sur con el acabado final.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)



**Figura 6.1.3:** Vista de la fachada norte en construcción.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)

Se trata de un caso de relevancia ya que esta edificación puede ser considerada como el **primer edificio residencial de varias plantas realizado en madera en España** tras la generalización absoluta del acero y el hormigón armado en la construcción de edificios que se consolidó a principios del siglo XX. Por tanto, se trata del primer edificio de varias plantas que se construyó en España dejando atrás los materiales tradicionales y dando la oportunidad al material de construcción sostenible, reciclable y estructural por excelencia: la madera.

El cliente del inmueble es una sociedad pública de promoción (Sociedad Arabarri), la cual se mostró receptiva a los planteamientos del equipo de arquitectos, teniendo en cuenta lo innovador que se presumía este proyecto en un país de experiencia nula hasta el momento en la construcción en altura con madera como era España. Los futuros usuarios recibieron sesiones de información con el objetivo de confirmar que ninguno de ellos se oponía o rechazaba la propuesta, dada la peculiaridad del proyecto.

El proyecto se desarrolló sin particulares incidencias técnicas o administrativas y se contó con el apoyo de la oficina técnica de KLH-Austria. Finalmente, en el año 2010, se consiguió la licitación del proyecto y la ejecución podía dar comienzo.



**Figura 6.1.4:** Trabajos en la estructura de paneles de madera contralaminada en el nivel N0.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)



El edificio consta de cinco plantas y está destinado a siete viviendas, tres plazas de aparcamiento y trasteros. Su configuración está determinada por la parcela y la necesidad de integrar el resto arqueológico de muralla que la atraviesa, así como la conjugación de variantes de índole social, técnica y económica.

Se planteó un nivel de forjado de hormigón con pilares metálicos que permitía dejar libres los restos de la muralla original de la villa (ver figura 3.8.1.5). Sobre dicho nivel arranca la primera planta de contralaminado. El volumen del edificio vuela sobre el resto arqueológico de la muralla, que queda vista desde el cantón. Optar por los paneles de CLT permitió agilidad y limpieza en las obras. Este material constituyó finalmente un elemento configurador del diseño y se dejó visto en lo posible para que formara parte de la imagen final del edificio.

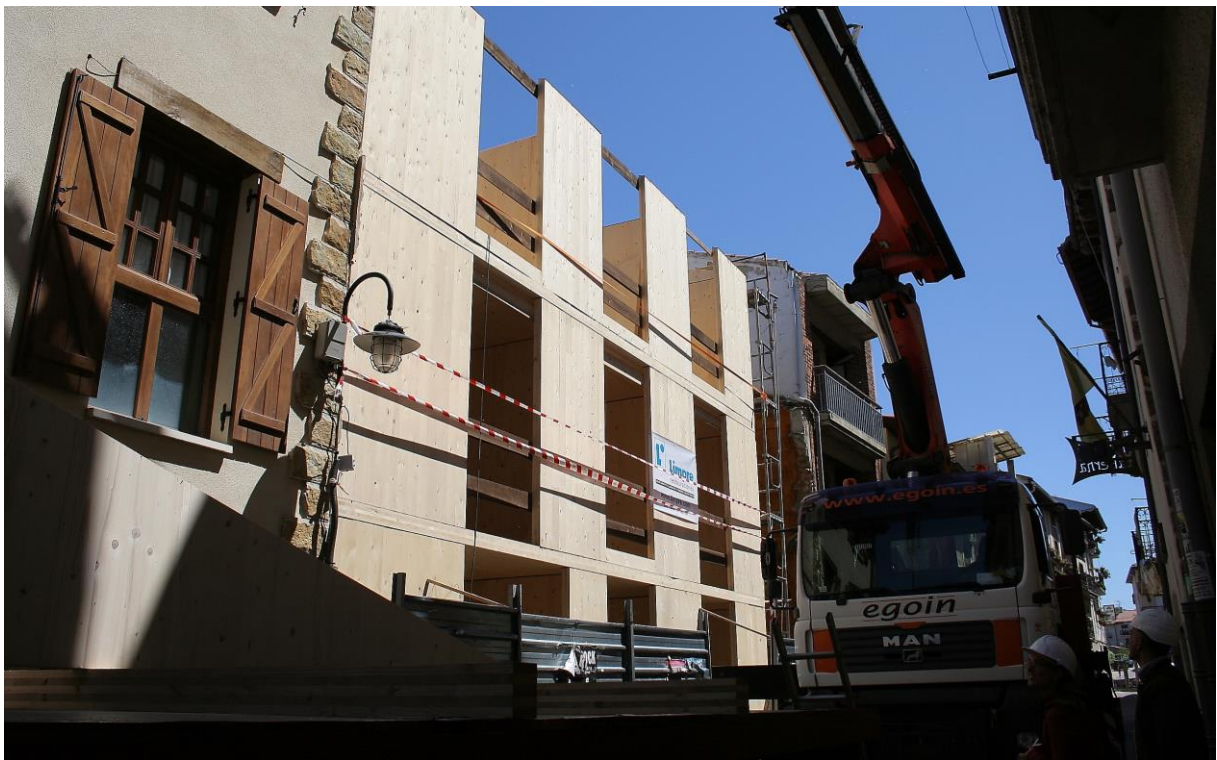
A continuación, se presenta una ilustración con la que se pretende mostrar el aspecto y forma de edificio. Se pueden observar cómo existen dos fachadas principales. A la izquierda, la de menor superficie y que supone el acceso a los niveles N0 a N3. Desde la otra fachada, todos los niveles, desde el N-2 hasta el N3, quedan visibles. En el centro se dispone una sección longitudinal para apreciar -a *grosso modo*- las diferencias estructurales, y, finalmente, la planta de cubierta.



**Figura 6.1.5:** Vistas de las fachadas principales, cubierta y sección longitudinal orientativa.  
(Fuente: elaboración propia a partir de los planos facilitados por la arqt. Nerea Otaduy)

A modo de vista general, en la sección mostrada en la anterior ilustración, las zonas sombreadas en gris representan la construcción en madera contralaminada. El recuadro rojo indica la sección transversal de la muralla, salvada gracias a los pilares metálicos a partir de los cuales comienza la construcción en madera. Los elementos metálicos estructurales están representados en verde. La línea discontinua azul indica los forjados de hormigón armado.

Estructuralmente, se trata de una configuración simple e inmediata (necesario si se pretende evitar caer en costes o sobrecostes estructurales desproporcionados). El tiempo de montaje fue insignificante, lo que es una de las grandes ventajas de construir en madera y, en concreto, en CLT. La empresa encargada de erigir la totalidad de la estructura de madera (Egoin S.A.) empleó tan sólo dos semanas.



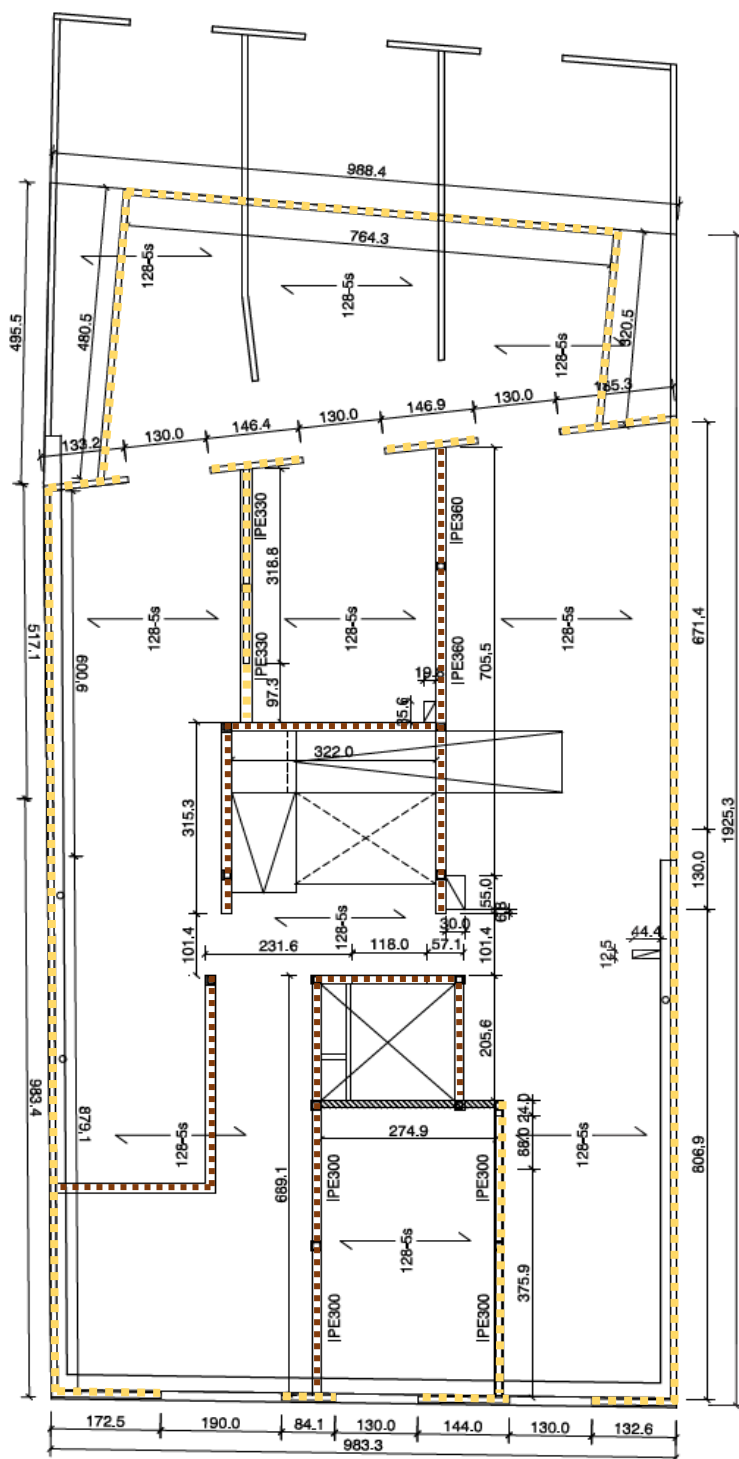
*Figura 6.1.6: fachada sur en construcción. (Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)*

El **nivel N-2**, o Planta Garaje, está destinado a tres plazas de aparcamiento privado. El forjado lo conforma una solera de 150 mm de hormigón armado sobre un enchachado de 200 mm. Bajo dicho forjado nacen 4 pilares metálicos (4x 2UPN100) que soportarán el vuelo del nivel superior.

El **nivel N-1**, o Planta Entreplantas, tiene uso vivienda y de servicios comunes. En esta planta se encuentra una de las siete viviendas y espacios para trasteros, lavaderos y cuartos destinados a los servicios comunes. El N-1 se constituye mediante un forjado de losa de hormigón armado de 150 mm. Bajo él nacen los pilares metálicos (2UPN120) que sustentarán el nivel N0, con apoyo de vigas IPN300 y IPE330. El perímetro de toda la planta lo conforma un muro de contención de hormigón armado, excepto el cerramiento exterior de la zona de vivienda no adyacente al edificio contiguo, que es de CLT.



El **nivel N0**, o Planta Baja, es de uso exclusivo para viviendas, en concreto dos, así como el resto de plantas que conformarán las plantas tipo. Es en este nivel donde da comienzo la construcción en madera. Desde la estructura portante vertical, como la horizontal, los cerramientos, la cubierta, etc. todo ello mediante paneles de madera contralaminada, utilizando diferentes grosores según la funcionalidad.



Este nivel de forjado, construido ya en CLT, es soportado perimetralmente por el muro de contención de hormigón armado e interiormente por los pilares metálicos del nivel inferior, así como por las vigas metálicas que conforman un sistema estable para que pueda nacer la estructura de madera de forma asentada.

La estructura portante horizontal la forman paneles de CLT 128-5s, es decir, de 128 mm de grosor conformados por 5 capas.

La estructura portante vertical está conformada por paneles de CLT de diferentes grosores. Los cerramientos exteriores, así como parte de los interiores, son paneles de CLT 94-5s, de grosor total 94 mm -5 capas-. También interiormente se disponen paneles 146-5s.

La ilustración muestra la planta de estructura del nivel N0. Las líneas de estructura portante vertical aparecen coloreadas de la siguiente manera:

CLT 146 mm: color **marrón**  
CLT 94 mm: color **amarillo**

Los paneles 128-5s utilizados para el forjado aparecen con su dirección de colocación.

(Fuente: elaboración propia a partir de los planos facilitados por la arqt. Nerea Otaduy)



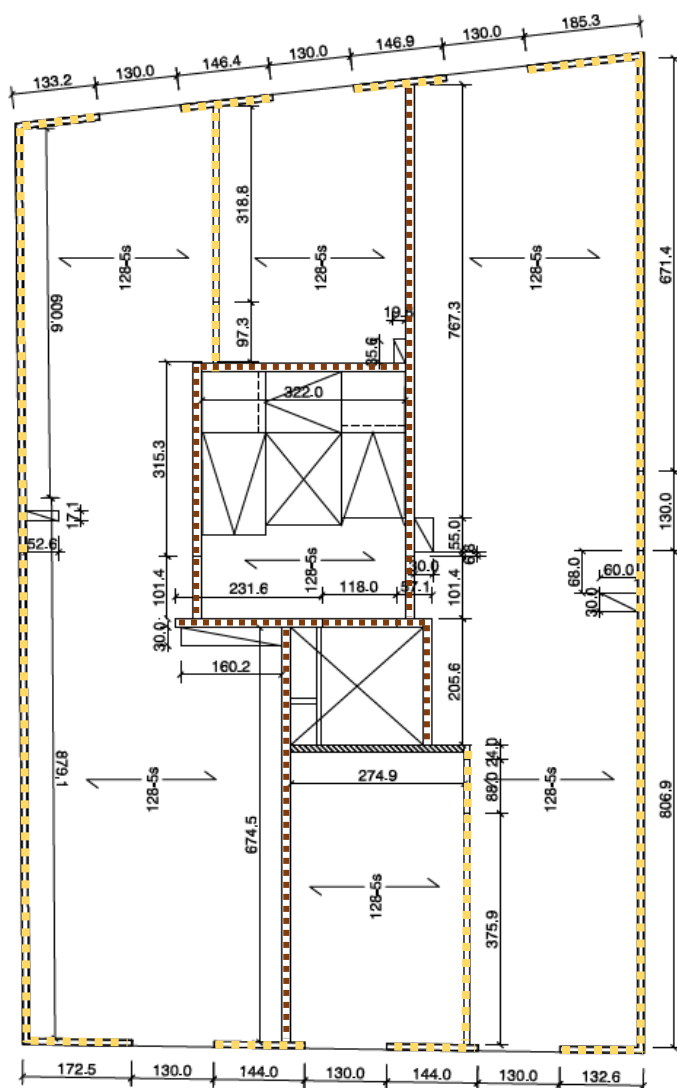
**Figura 6.1.8:** Disposición de los paneles estructurales de CLT en el nivel N0.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)



**Figura 6.1.9:** Cerramiento estructural de CLT 94-5s adyacente a edificio contiguo.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)

**Los niveles N1 y N2, o Plantas Tipo, al igual que el nivel 0, contienen dos viviendas y la construcción está realizada en CLT. Los paneles de madera contralaminada que conforman la estructura portante vertical están dispuestos de manera que ofrezcan una continuidad a los del nivel inferior, aunque se pueden apreciar ligeras modificaciones debido a los cambios en la distribución al pasar de planta baja a planta tipo.**

Las plantas tipo son las primeras del edificio que se levantan sobre otra planta con estructura de CLT, ya que la planta baja se levantaba sobre elementos estructurales tradicionales.



**Figura 6.1.10:** Plano de estructura de los niveles 1 y 2.  
(Fuente: elaboración propia a partir de los planos facilitados por la arqt. Nerea Otaduy)

El sistema estructural es el mismo que el descrito en el nivel 0. Supone una continuidad y se emplean los mismos paneles que en el citado nivel inferior.

Por tanto, para la estructura portante horizontal, forjados, se utilizan los paneles 128-5s, dispuestos de la manera que aparece en la figura.

La estructura portante vertical continúa la línea, formando un cerramiento exterior con paneles 94-5s, y un núcleo interior con paneles 146-5s.

La ilustración muestra la planta de estructura de los niveles 1 y 2. Las líneas de estructura portante vertical aparecen coloreadas de la siguiente manera:

CLT 146 mm: color **marrón**  
CLT 94 mm: color **amarillo**

Los paneles 128-5s utilizados para el forjado aparecen con su dirección de colocación.





*Figura 6.1.11: Vista de los niveles N1 y N2 en fachada sur.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)*

El **nivel N3**, o Planta Bajo Cubierta, no contiene ninguna vivienda. Las siete están repartidas en Planta Entreplanta (1), Planta Baja (2), Planta Tipo 1 (2) y Planta Tipo 2 (2). Tan sólo dispone de dos cámaras situadas en la zona central de la planta, junto al núcleo de escaleras, donde la altura de la cubierta es suficiente para hacer uso del espacio.

El sistema estructural es el exactamente el mismo que el de los niveles N0, N1 y N2. Se siguen las mismas líneas de estructura portante vertical por lo que la continuidad es total. La estructura horizontal también presenta la misma disposición y composición que los niveles inferiores.

Por último, para la cubierta se planearon los mismos paneles que para los forjados de CLT. Es decir, la estructura de la cubierta se compone de paneles 128-5s con la inclinación deseada para que tengan función de cubierta inclinada.



*Figura 6.1.12: Plano contrapicado del núcleo de ascensor.  
(Fuente: arqt. Nerea Otaduy – O+A Arquitectos)*

La imagen superior corresponde a la vista de un plano contrapicado del núcleo del ascensor, totalmente construido con madera contralaminada, como se puede apreciar. Se trata de una toma interesante ya que se puede observar desde el interior cómo los niveles van superponiéndose y formando una construcción en altura. Se pueden diferenciar los diferentes pisos y cómo se encuentran las estructuras portantes vertical y horizontal.

También permite apreciar las capas que conforman los paneles utilizados para el forjado (5 capas para un espesor total de 128 mm), y las 5 capas de los paneles que cierran el núcleo de ascensor, formando un panel de 146 mm.



## 6.2 AYUNTAMIENTO EN IKAZTEGIETA, GUIPÚZCOA

### Proyecto

Edificio de tres plantas para usos públicos y administrativos.

### Ubicación

Barrio de San Lorenzo, 7, Ikaztegieta (Guipúzcoa)

### Arquitectura y dirección de obra

Estudio Astazaldi Arkitektura  
Hektor Espin Larreta, arquitecto  
Eñaut Muñoa Artola, arquitecto  
Roman Egaña Salaberria, arqt. técnico

### Promoción

Ayuntamiento de Ikaztegieta  
Agencia Etorlur – Gobierno del País Vasco

### Construcción en madera

EGOIN S.A



*Figura 6.2.1: Vistas generales exteriores del edificio. (Fuente: Astazaldi Arkitektura)*

El edificio, sede del ayuntamiento del pueblo de Ikaztegieta, así como de la biblioteca municipal y sala de eventos, se proyectó en el año 2010 y se ejecutó un año más tarde, en 2011.

El estudio de arquitectura *Astazaldi Arkitektura* recibió el encargo por parte del ayuntamiento del municipio para la construcción del nuevo edificio. Inicialmente, se proyectó con una solución estructural-constructiva tradicional, es decir, no fue diseñado con la idea de realizarlo en madera. El viraje hacia este material se produce cuando interviene el Gobierno Vasco, mediante la agencia Etorlur, con la iniciativa de promover la construcción con el material renovable.

De este modo, el escenario presentaba un proyecto de edificio de tres plantas ya diseñado y proyectado, con la necesidad de ser adaptado a una solución estructural en madera. El plan del Gobierno Vasco era que se importasen paneles de CLT desde Europa Central. El estudio aceptó las exigencias de la administración, pero realizó una propuesta que a día de hoy se puede considerar como pionera. Dicha propuesta fue "utilizar madera autóctona, de los bosques del País Vasco. Bajo nuestro criterio, nos parecía un sinsentido querer apostar por esta construcción sin utilizar la materia prima autóctona." (Hektor Espín Larreta, autor del anteproyecto y miembro de Astazaldi Arkitektura).

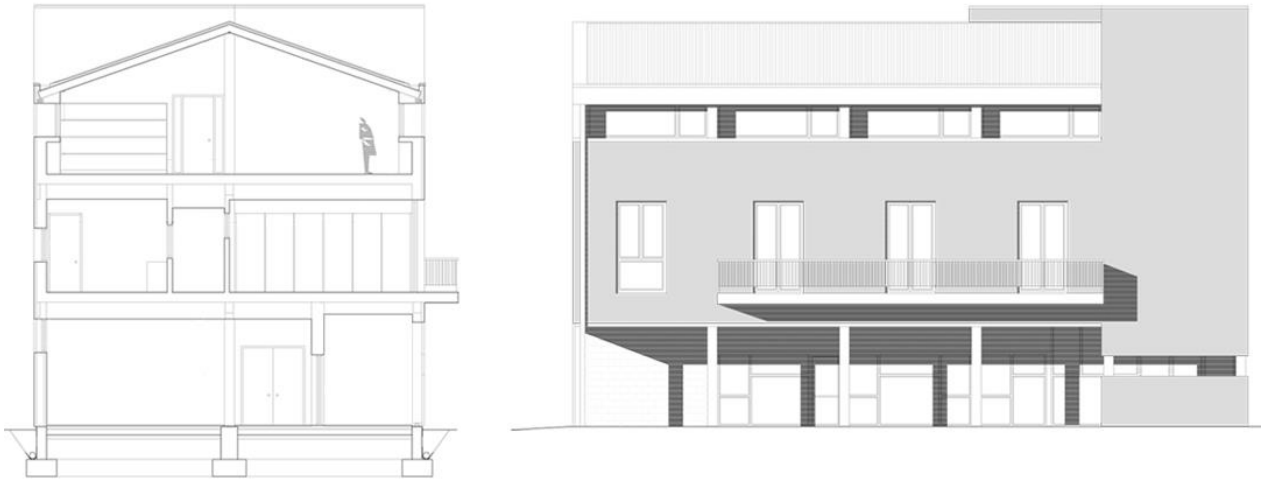
El estudio consiguió que su idea fuese escuchada y, de esta manera, se dio luz verde al **primer edificio construido en España con paneles de CLT de madera autóctona**, facilitados por la empresa líder en construcción y producción de madera estructural EGOIN S.L.



*Figura 6.2.2: Imagen desde el interior en un momento de la construcción.  
(Fuente: Astazaldi Arkitektura)*

Este edificio se compone de planta baja, planta primera y planta bajo cubierta. A diferencia de otros edificios similares, la estructura de CLT comienza desde cota 0, es decir, no arranca a partir de una planta realizada en hormigón o en acero, como se ha hecho en otros proyectos como el de Campezo (apartado 6.1) u Hondarribia (apartado 6.3).

La fachada oeste es la principal. Constituye la entrada al edificio y es la fachada más representativa debido a su orientación a la plaza y por su porche de planta baja, que le dota de una singularidad respecto a las otras fachadas.



*Figura 6.2.3: Sección transversal (izquierda) y fachada oeste (derecha).  
(Fuente: Astazaldi Arkitektura)*

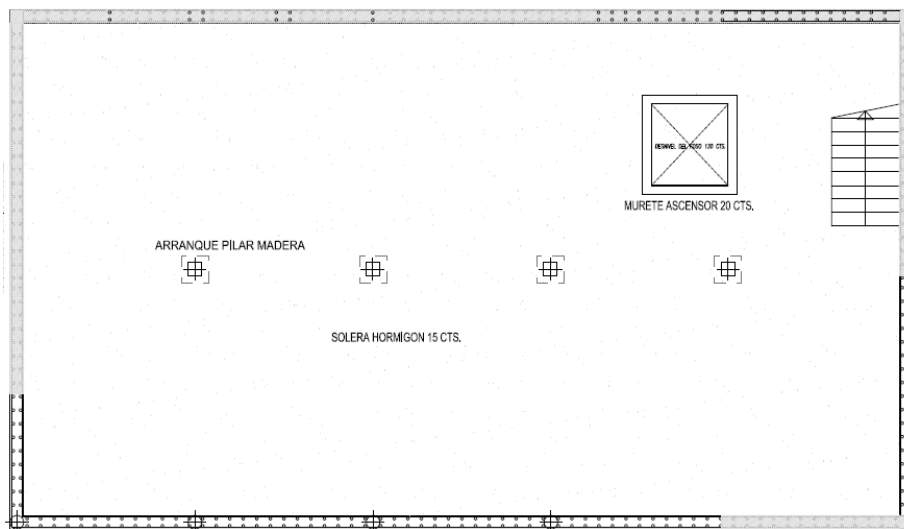
El sistema de cimentación está conformado por un muro perimetral de hormigón armado, mediante vigas flotantes, a partir del cual nace la estructura portante de CLT, y de zapatas corridas formando un sistema de líneas perpendiculares de vigas flotantes. En sus intersecciones, ubicadas en la zona central, nacen cuatro pilares de madera maciza, que tienen presencia en las tres plantas. Sobre la cimentación se conforma un forjado sobre terreno en planta baja mediante una losa de hormigón de 15 cm, que ocupará la superficie de construcción del edificio.



*Figura 6.2.4: Vista de la solera de hormigón sobre el sistema de cimentación y arranques para los paneles de CLT. (Fuente: Astazaldi Arkitektura)*

La estructura de CLT de la fachada oeste es la única que no arranca como las demás en cota 0, sino que inicia en la siguiente planta sobre pilares y vigas de madera maciza.





En la imagen de la izquierda se puede apreciar, en la zona **sombreada**, el murete perimetral que sirve de soporte para la estructura portante vertical de CLT.

**Figura 6.2.5:**  
*Ubicación de pilares  
centrales y exteriores,  
y muro soporte, en PB.*  
(Fuente: Astazaldi  
Arkitektura)

En la imagen siguiente se puede comprobar cómo la estructura de CLT en la fachada oeste arranca sobre un sistema de pórticos pilares-viga, los cuales a su vez forman el espacio de entrada al edificio mediante un porche. Se puede apreciar también que sobre dichos pórticos no solo arranca la estructura de CLT, sino también el balcón del consistorio en voladizo, dispuesto con el mismo sistema de paneles, pero con la inclinación requerida.



**Figura 6.2.6:** *Fachada oeste, pórticos que conforman el porche de planta baja.*  
(Fuente: Astazaldi Arkitektura)

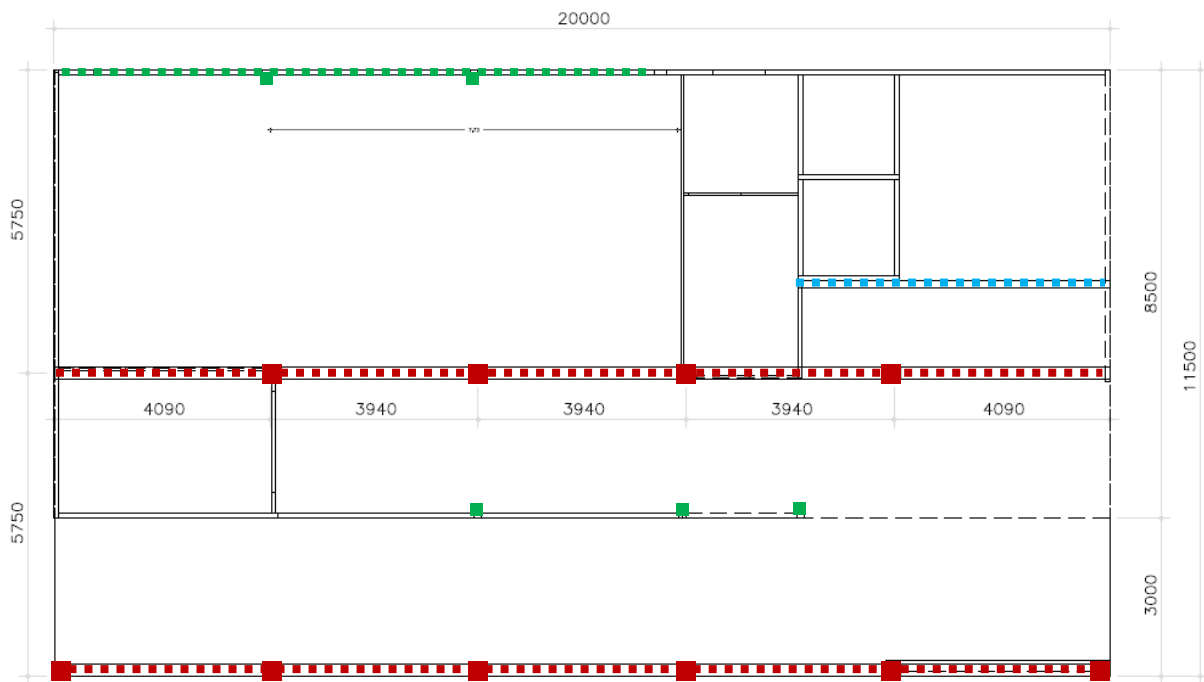
Para la estructura portante vertical mediante paneles, que a su vez ejercen de cerramiento, se emplearon paneles CLT 90 (tres capas con espesor total de 90 mm). También se planteó un sistema de pilares de madera maciza de diferentes dimensiones según la ubicación de los mismos.



En la siguiente imagen de **planta baja**, se trazan cuatro líneas paralelas de pilares. Los de dimensiones 140 x 230 mm están simbolizados con un **cuadrado verde**, y los de 240 x 240 mm, con **cuadrado rojo**.

Estos pilares soportan unas vigas de madera laminada formando unos pórticos para la posterior colocación de los paneles que conformarán los forjados. En línea **discontinua verde**, las vigas de dimensiones 100 x 450 mm, en **discontinua roja**, las de 240 x 320 mm y en azul, una viga de 140 x 240 mm.

No solo los pilares y las vigas constituyen el sistema portante. Los cerramientos de paneles de CLT constituyen parte fundamental en el plano vertical, distribuidos perimetralmente.



**Figura 6.2.7:** planta baja – ubicación de pilares y vigas de madera.  
(Fuente: elaboración propia a partir del plano aportado por Astazaldi Arkitektura)



**Figura 6.2.8:** Ubicación real en obra de las vigas de madera laminada.  
(Fuente: elaboración propia a partir de la imagen aportada por Astazaldi Arkitektura)



**Figura 6.2.9:** Momento en obra de colocación y montaje del binomio viga-pilar de madera.  
(Fuente: Astazaldi Arkitektura)

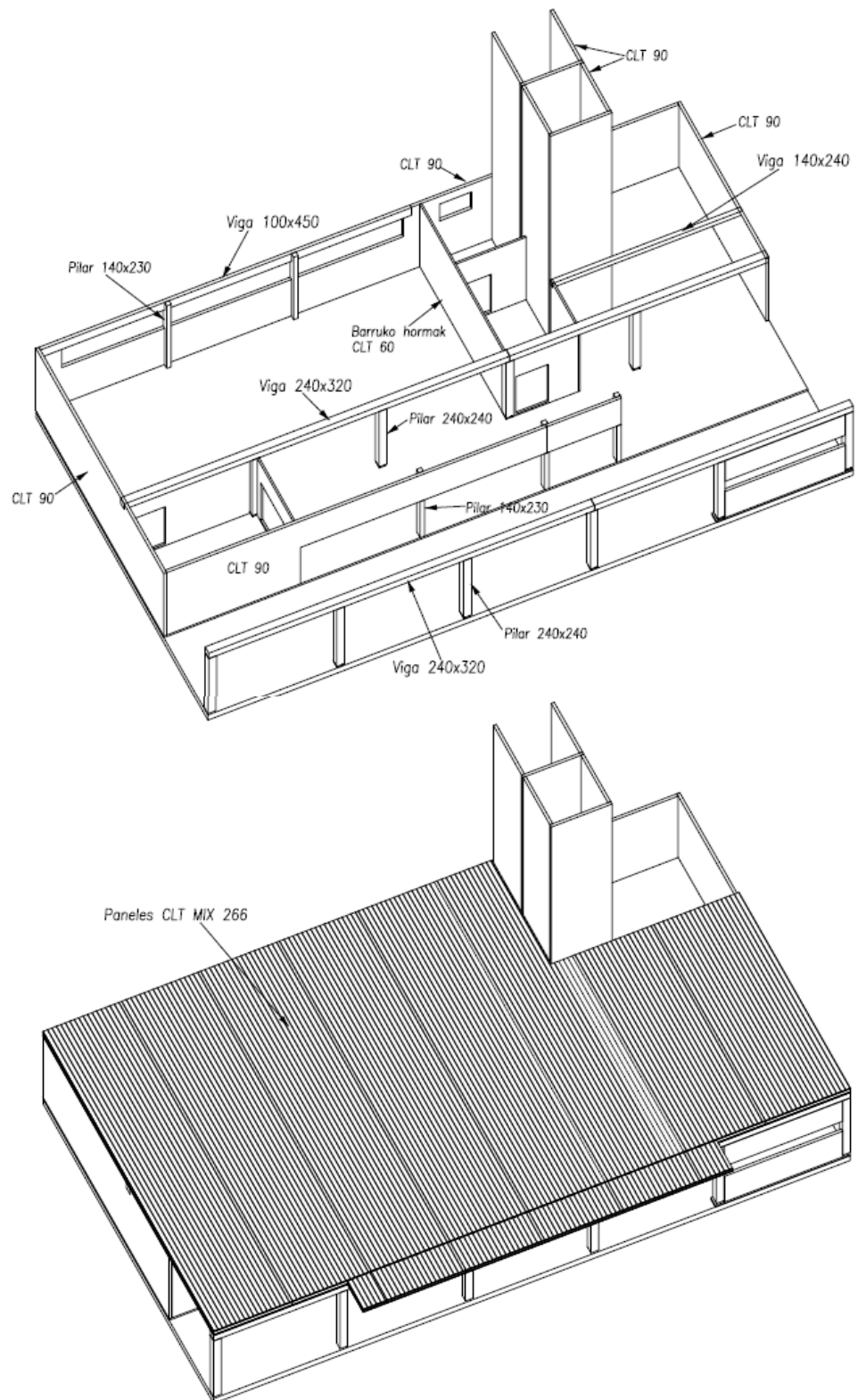


**Figura 6.2.10:** En planta baja, los pilares no entran en contacto con la solera. Se levantan sobre un perfil metálico.



**Figura 6.2.11:**  
Operario supervisando y controlando in situ la unión de dos vigas.  
(Fuente: Astazaldi Arkitektura)

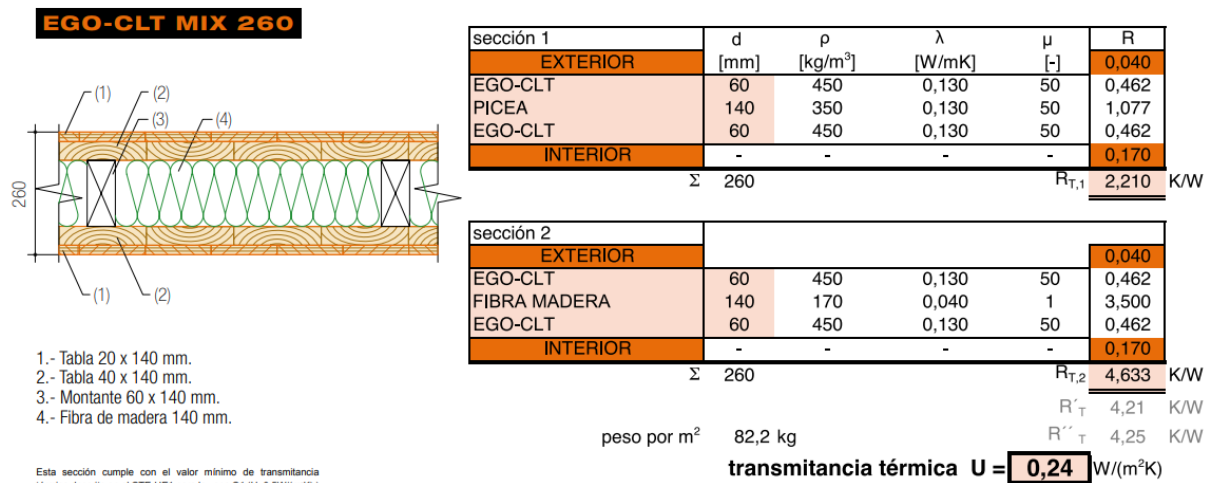
Axonometrías en las que se muestra de manera muy gráfica la distribución y ubicación de los elementos portantes verticales y horizontales de madera en planta baja.



**Figura 6.2.12:** Imágenes del proceso de colocación de los elementos estructurales de los planos de estructura. (Fuente: Astazaldi Arkitektura)

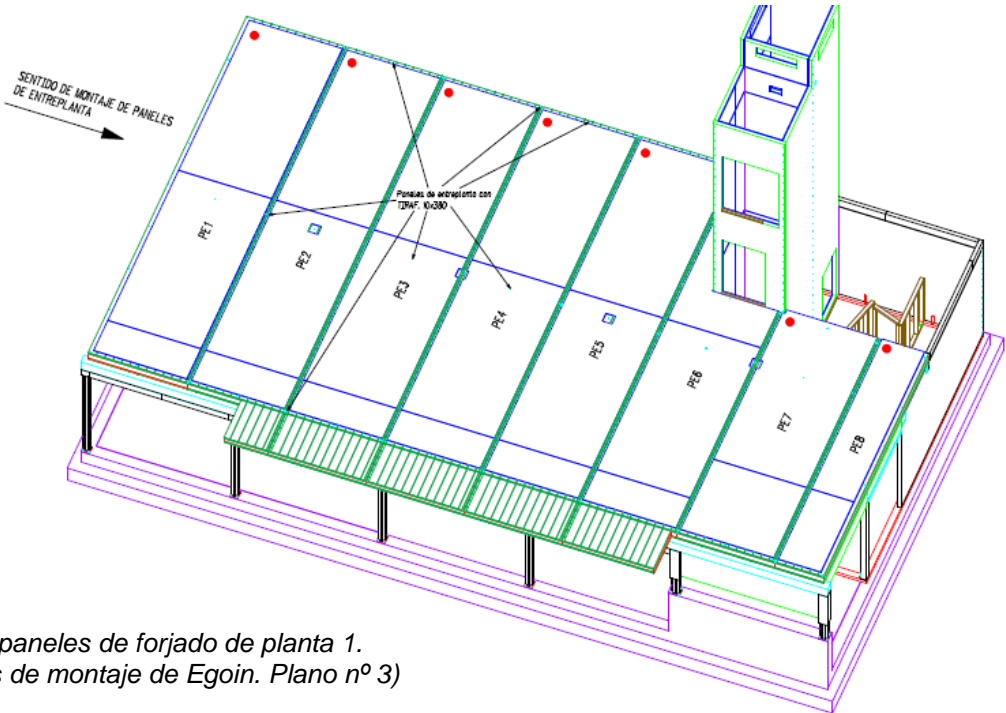


Para la estructura portante horizontal que forma los forjados, el equipo de Astazaldi optó por un producto patentado por EGOIN llamado CLT MIX. Se trata de un sistema "sandwich", con dos capas de tableros contralaminados en un extremo, un aislamiento de fibra de madera en la zona central, y de nuevo dos capas de tableros contralaminados en el otro extremo. Además, para dotar a estos paneles de función portante, se disponen unas viguetas de madera entre dichos tableros, de manera que el panel pueda soportar las cargas verticales que llegan al forjado.



**Figura 6.2.13:** Tabla de características del panel utilizado en este proyecto.  
(Fuente: catálogo Egoín "Materiales & Productos. EGO-CLT y EGO\_CLT MIX" Pág. 18

De este modo, los paneles de CLT MIX se disponen horizontalmente, apoyados en el sistema estructural portante vertical de paneles de CLT 90 y en las vigas de madera maciza, formando el forjado de toda la planta. Este proceso se repite en los forjados de las plantas siguientes.



**Figura 6.2.14:**  
Montaje de los paneles de forjado de planta 1.  
(Fuente: planos de montaje de Egoín. Plano nº 3)





**Figura 6.2.15:** Momento de montaje del núcleo de ascensor mediante piezas de gran longitud fabricadas a medida por Egoín S.L. (Fuente: Astazaldi Arkitektura)

El núcleo del ascensor está formado por piezas únicas a medida (de CLT 90), por lo que, como en esta imagen, durante el montaje se pudo apreciar la gran magnitud y longitud de dichas piezas, dado que fueron colocadas al mismo tiempo que se construía la planta baja.

En el edificio de Campezo (6.1) el núcleo del ascensor se iba conformando a medida que se levantaban las plantas. Es una de las diferencias interesantes que pueden apreciarse a medida que se analizan diferentes proyectos.

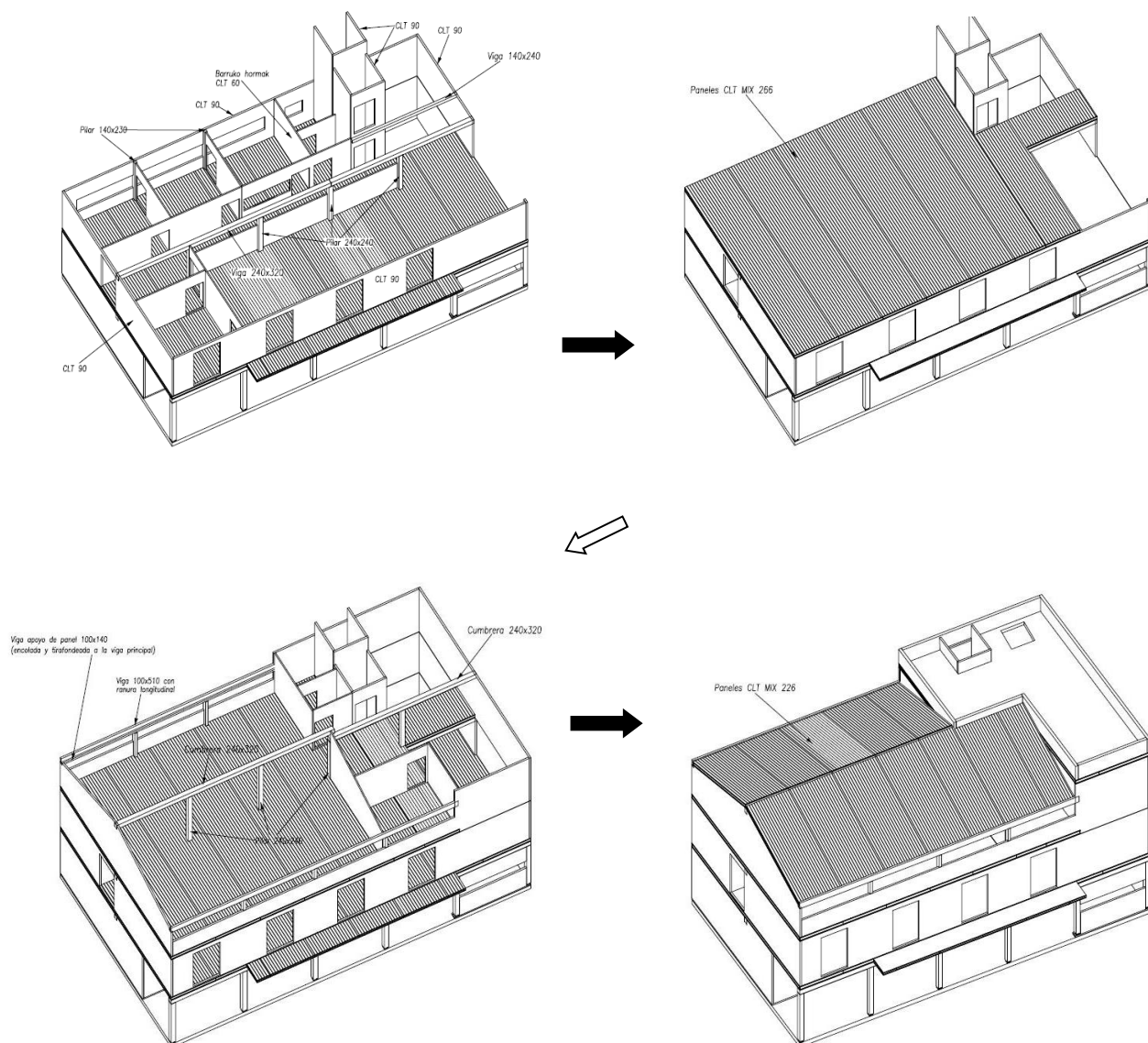
Los arquitectos, en su momento noveleros en este tipo de construcción, dejaron constancia de la impresión que les produjo ver unas piezas de madera de tales dimensiones siendo colocadas, destacando respecto al resto de la construcción.

Las dos plantas superiores siguen la misma tipología de construcción. Una de las grandes ventajas de construir en madera con productos creados con la tecnología del siglo XXI es que el proceso de construcción se convierte en una sucesión de fases previstas y contraladas a un nivel casi —estamos aun dando los primeros pasos— industrializado.

Construir se convierte en proceso industrial, preciso, eficiente, sin fallos o variaciones respecto a proyecto en cuanto a mermas, costes, etc. Se pasa de una construcción con incertidumbres in situ a un montaje rápido, eficaz, seguro y limpio.

A modo de vista general del proceso de montaje del resto de plantas y cubierta, en la siguiente infografía se pueden apreciar las fases separadas por estructura portante vertical y horizontal, y por niveles.

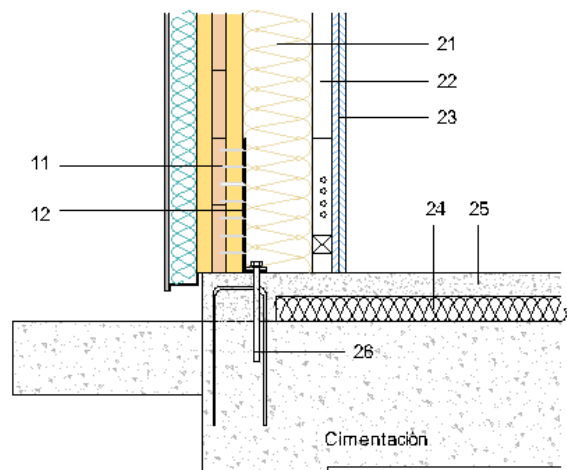
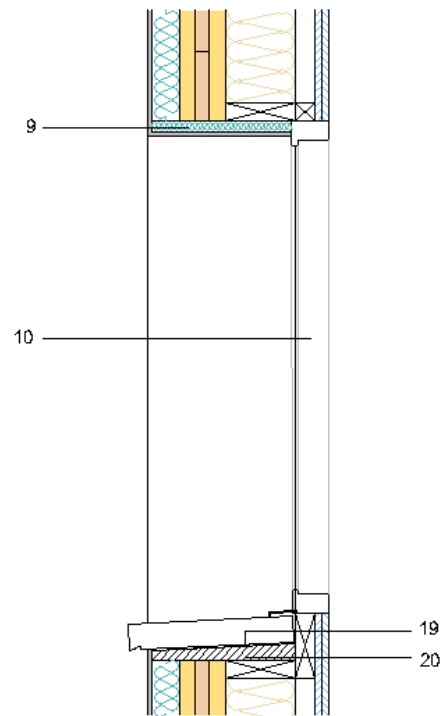
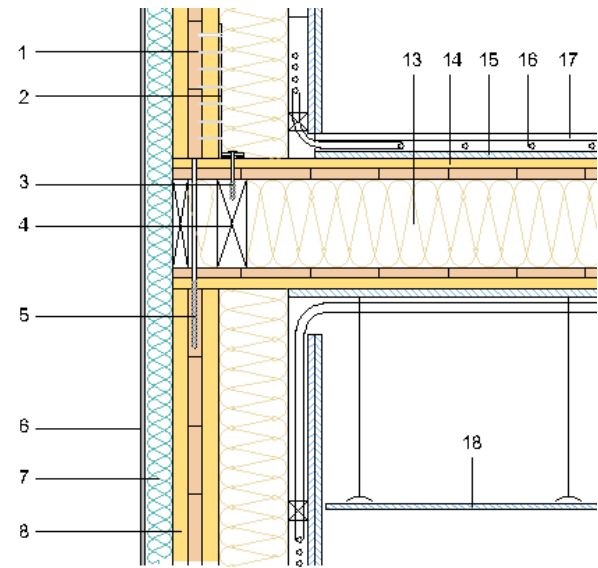
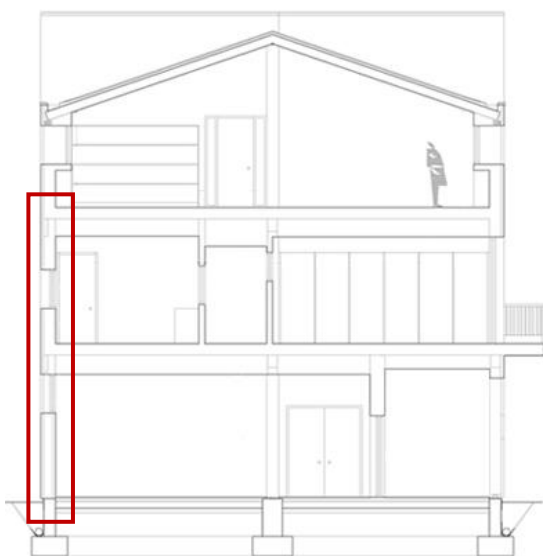
El montaje, como demuestra la imagen, es una sucesión de piezas colocadas en el lugar correspondiente, siguiendo un orden y lógica industrial. No da lugar a errores de ejecución gracias a la sencillez de las piezas y la precisión que se consigue con éstas.



**Figura 6.2.16:**

*Infografía del proceso de montaje de los elementos estructurales de madera en los niveles 1 y 2.  
(Fuente: elaboración propia a partir de los planos de estructura de Astazaldi Arkitektura)*

- 1- Clavos anillados
- 2- Escuadra metálica de unión
- 3- Perno 10x100 mm
- 4- Vigueta de madera del panel CLT MIX
- 5- Perno 10x380 mm
- 6- Doble enfoscado exterior
- 7- Aislante de fibra de madera, 60 mm
- 8- Estructura de CLT, 90 mm (3capas)
- 9- Aislante de fibra de madera, 22 mm
- 10- Carpintería exterior de pino y herrajes me
- 11- Clavos anillados
- 12- Escuadra metálica de unión
- 13- Aislante de fibra de madera, 180 mm
- 14- Paneles CLT estructura horizontal:  
20x140 mm tableros transversales,  
23x140 mm tableros longitudinales.
- 15- Panel de yeso reforzado con fibra, 15 mm
- 16- Sistema de suelo radiante
- 17- Pavimento de la estancia interior
- 18- Falso techo, panel de cartón-yeso, 13 mm
- 19- Hoja de impermeabilización
- 20- Soporte del vierteaguas
- 21- Aislante de fibra de madera, 140 mm
- 22- Barrera de vapor
- 23- Doble panel de cartón-yeso, 26 mm
- 24- Poliestireno extruido, 50 mm
- 25- Hormigón con malla electrosoldada
- 26- Anclaje HILTI HSA-M1 12x220 mm



**Figura 6.2.17:**  
Detalle de fachada este.  
(Fuente: elaboración propia con  
información de Astazaldi Arkitektura)



### 6.3 VIVIENDAS (32+33) EN HONDARRIBIA, GIPÚZCOA

#### Proyecto

Dos bloques de PB+4 de forma rectangular, configurando una "L" (SÓ)

#### Ubicación

C/ Tximista. Muliarte, Hondarribia (Guipúzcoa)

#### Arquitectura y dirección de obra

Estudio TYM Asociados  
Carmelo Fernández Militino, arquitecto  
Sara Pérez, arquitecto  
Eduardo Ozcoidi, ingeniero  
César Sesma, JG Ingenieros

#### Promoción

WISESA

#### Construcción

MOYUA

#### Industrial madera

EGOIN S.A



**Figura 6.3.1:** Render del aspecto final de los dos edificios.  
(Fuente: TYM Asociados)





*Figura 6.3.2: Render del aspecto final de los dos edificios. (Fuente: TYM Asociados)*

Este ambicioso proyecto, ejecutado en 2018, es estandarte de la construcción en madera en España. Existen otros edificios y proyectos de renombre en el país, como el primer edificio en llegar a las 6 plantas, ubicado en Lleida (2013), o La Borda, el edificio más alto de España en madera (2019), en Barcelona. Sin embargo, la edificación de Fuenterrabía se ha convertido en la promoción más grande de España y del suroeste de Europa construida en madera.

65 viviendas repartidas dos bloques. Uno alberga 32 viviendas de protección oficial en venta y el otro, 33 viviendas en régimen de alquiler. En tres meses se ejecutaron los cerramientos, estructura y cubierta, todo ello realizado con paneles de madera contralaminada extraída de bosques del entorno. Todo un hito en la construcción en madera en nuestro país, y con estándares en sostenibilidad, calidad y precisión muy superiores a la construcción tradicional.



*Figura 6.3.3: Dos plantas levantadas con estructura de CLT. (Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)*



*Figuras 6.3.4 (izquierda) y 6.3.5 (derecha): Vistas del aspecto de las plantas durante la construcción.*  
(Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)



*Figura 6.3.6: Operarios instalando paneles CLT de forjado.*  
(Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)

Se trata de un proyecto realizado y pensado de forma conjunta para los dos edificios (venta y alquiler). Se distribuyen dos volúmenes edificatorios dotados de 4 núcleos de comunicación, dos para cada uno de los bloques. Los espacios de la parcela no ocupados por la edificación conforman una plaza.

En cuanto al sistema estructural, se llevaron a cabo dos soluciones diferentes. Toda la estructura bajo rasante y hasta el forjado inferior de la primera planta correspondiente a viviendas es una estructura tradicional de pórticos de hormigón armado. La rigidez adecuada de la losa de hormigón para apeo de la estructura de madera, evita asientos en los muros portantes de CLT que generarán sobreesfuerzos a la estructura de madera.





**Figura 6.3.7:** Trabajos y acopios durante la construcción de una planta del edificio.  
(Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)



**Figura 6.3.8:** Colocación de paneles de forjado.  
(Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados).

A partir de la planta de hormigón, toda la estructura es de paneles contralaminados y vigas laminadas.

Como expone el arquitecto Fernández Militino (2018), los forjados bajo rasante son unidireccionales prefabricados de pre-losa pretensada. Se apoyan en pórticos formados por vigas planas y pilares de hormigón armado. Los forjados bajo primera planta son de losa maciza de hormigón de 50 cm. De este modo se permite una flexibilidad total para el planteamiento de la estructura portante vertical de madera que permite replantear muros portantes en cualquier dirección y posición.

**Estructura portante vertical:** paneles de madera contralaminada (CLT 60, CLT 75, CLT 90, CLT 100). Corresponden a las fachadas longitudinales del edificio y a los cerramientos interiores de baños, núcleos de ascensor y cocinas. Conforman 4 líneas de apoyo (2 de fachada y 2 interiores) para los forjados, también compuestos de paneles CLT. A partir de estas líneas de apoyo definidas, los forjados salvan tres vanos con luces de  $6,2 + 2,5 + 6,2$  metros.

**Estructura portante horizontal:** paneles de madera contralaminada continuos, que permiten salvar los tres vanos. Dicha cantidad se consigue fabricando paneles de longitud igual al ancho de cada uno de los edificios. Paneles de plantas tipo con CLT 220 y suelo de ático con CLT 260. Apenas 21 cm de espesor.

La cubierta se resuelve con paneles inclinados de CLT, apoyados en paredes de fachada y en un anillo de vigas de madera laminada.



**Figura 6.3.9:** Vista de la estructura de madera realizada, a falta de instalar la cubierta.  
(Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)





**Figura 6.3.10:** Tabiquería interior de CLT con panel de tres capas.  
(Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)



**Figura 6.3.11:** Espacio bajo cubierta, donde se puede apreciar la inclinación de los paneles de la misma. (Fuente: Arquitectura & Madera noviembre 2017 y TYM Asociados)

El volumen de madera aproximado utilizado para la construcción de este edificio ha sido 2500 m<sup>3</sup> de tablón bruto en total con tipología de madera C24 pino radiata.

El volumen de madera contralaminada ha sido 2050 m<sup>3</sup> (ver Figura 6.3.12), que, con una densidad de 500 kg/m<sup>3</sup>, resulta en un peso de 1025 toneladas.

	32 VIVENDAS	33 VIVENDAS	m <sup>3</sup> MADERA
PAREDES			
60	246,96	246,96	28,23
78	1104,14	653,18	137,07
86	1654,58	1291,99	253,41
100	1289,64	1516,30	280,59
FORJADOS			
220	1599,92		351,98
240		1237,90	297,10
280	799,97		223,99
295		703,98	207,67
200	320,42		64,04
150	558,01	648,50	180,98
VIGAS ML			
GL28	189,93	146,36	4,30
25x25	12,49		0,76
ESCALERAS			
150	63,78	67,14	19,64
			2049,86 m <sup>3</sup> de madera
			500 kg/m <sup>3</sup>
			1024,92,86 Toneladas de madera

**Figura 6.3.12:** Datos del volumen de madera utilizada en la construcción.  
(Fuente: elaboración propia a partir de los datos aportados por Carmelo Fernández Militino, director de TYM Asociados)

Se trata de una construcción medioambientalmente sostenible. A su vez, por cada m<sup>2</sup> construido, la estructura de CLT pesa aproximadamente un 50%:

- Forjados: 450 kg frente a 100 kg/m<sup>2</sup>
- Estructura vertical: 150 kg/m<sup>2</sup> frente a 160 kg/m<sup>2</sup>

En este edificio, la estructura de madera ha supuesto aligerar aproximadamente 1800 toneladas de peso, más de un 50% del peso de la estructura sobre rasante.

La ligereza estructural se complementa con una gran envolvente térmica de 12 cm de aislamiento en fachada o 20 en cubiertas, que permiten a este edificio no sólo su certificación A sino también cumplir el estándar nZEB (Nearly Zero Energy Building-Edificios de consumo casi nulo), anticipándose a la directriz europea que lo propone para el año 2020.

## 6.4 EDIFICIO PÚBLICO EN VIGO, PONTEVEDRA

### Proyecto

Equipamiento público sede de la Universidad de Vigo y edificio de I+D.  
Remodelación de edificio histórico en el casco antiguo de la ciudad, junto al puerto.

### Ubicación

Rúa do Ribeira o Berbés 11, Vigo (Pontevedra)

### Arquitectura y dirección de obra

Elizabeth Ábalo, arquitecto  
Gonzalo Alonso, arquitecto  
José Luis Pardo Pérez, arquitecto técnico

### Promoción

Universidad de Vigo

### Construcción

Ogmios Proyecyo S.L.  
Madergia (construcción con madera)

### Industrial madera

Fabricante CLT: Stora Enso Austria  
Control técnico estructuras de madera: PEMADE



*Figura 6.4.1: Infografía del aspecto final del edificio. (Fuente: web de Madergia)*



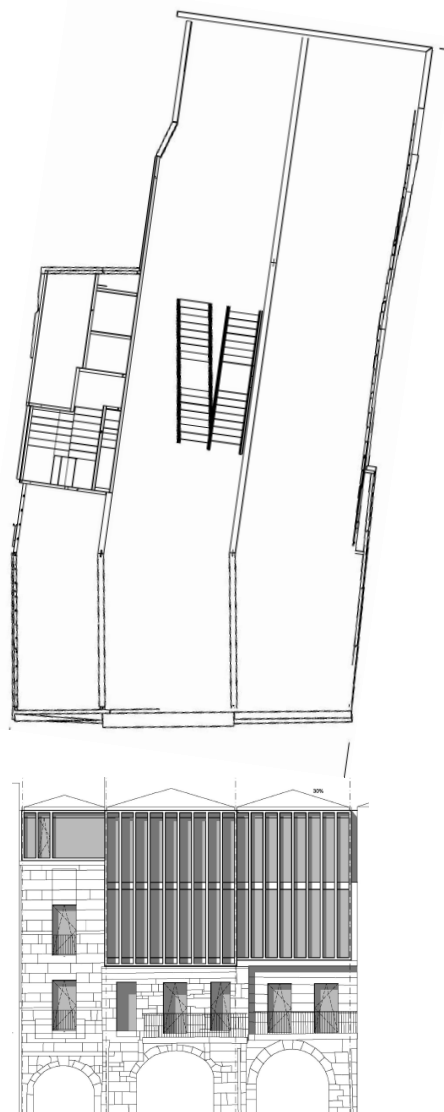


**Figura 6.4.2:** Estado del inmueble antes de las actuaciones. Se observa la piedra existente. (Fuente: Diego Núñez Jimenez – Madergia)

El proyecto nace de la necesidad por parte de la Universidad de Vigo de contar con una sede institucional que le dotara e una mayor presencia en el centro de la ciudad, concretamente en la Plaza de Berbés, con el objetivo de acercar el servicio al ciudadano y de contribuir en la rehabilitación y dinamización de la zona.

El estudio de arquitectura Ábalo Alonso arquitectos, Elizabeth Ábalo y Gonzalo Alonso, fueron los encargados del proyecto y dirección de obra al ser elegidos tras la realización de un concurso convocado por la Universidad de Vigo, donde se valoraba especialmente la calidad arquitectónica y la sostenibilidad. La utilización de la madera estructural fue un aspecto muy valorado, tanto por el bajo impacto ambiental como por la posibilidad de recrear sistemas constructivos tradicionales con tecnologías actuales.

El proyecto, a su vez, ha tenido que justificar el cumplimiento de las condiciones estéticas establecidas en el Plan Especial de Protección y Reforma Interior del Casco Vello de Vigo, así como conseguir armonizar la piedra existente con la madera utilizada en el resto del edificio.



**Figura 6.4.3:** Planta y alzado. (Fuente: Diego Núñez Jimenez – Madergia)



El edificio cuenta con cuatro plantas, 1450 m<sup>2</sup> de superficie construida y 1175 m<sup>2</sup> de superficie útil. Las dimensiones generales en planta son de 14 x 28 metros, siendo la menor dimensión la correspondiente a la fachada en Plaza de Barbés. La mayor, conforma el fondo del inmueble. Se emplearon dos meses para el montaje y 9 camiones de material.

El sistema de ejecución es el habitual en CLT por niveles. Se instalan los muros de carga, sobre los cuales se colocan los paneles de forjado que constituyen el suelo de la siguiente planta, y así sucesivamente hasta completar todos los niveles. Se instala una banda acústica en la coronación de cada muro de CLT para evitar la transmisión de sonido de impacto entre distintas zonas del edificio.

Los materiales empleados en la estructura de madera del edificio son los siguientes:

- **380 m<sup>3</sup> de panel contralaminado CLT**; utilizados en los muros portantes, forjados y escalera central prefabricada, así como los elementos estructurales del cajón del ascensor. Suministrado por Stora Enso y fabricado en Austria.



**Figura 6.4.4:**

*Imagen de una de las plantas donde se aprecian los paneles contralaminados.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez - Madergia)*



**Figura 6.4.5:** *Imagen de la escalera central, prefabricada de CLT.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez - Madergia)*

- **70 m3 de madera laminada encolada GL24h de abeto**; utilizados en la cubierta, conformando una serie de parecillos sobre los que descansan los tableros de madera ranurada que queda vista en su cara interior.



*Figura 6.4.6: Vista de los parecillos de cubierta a partir de madera laminada de abeto rojo, sobre los que descansan los tableros ranurados obtenidos del mismo árbol. (Fuente: Diego Núñez Jiménez – Madergia)*

- **15 m3 de madera laminada encolada GL24h de pino** tratado en autoclave mediante sales previamente a su encolado; utilizados en fachada principal en grandes marcos estructurales.



*Figura 6.4.7: Instalación de los marcos estructurales de madera laminada de pino tratado, en fachada. (Fuente: Diego Núñez Jiménez – Madergia).*



- **380 m2 de tablero de cubierta ranurado**; utilizados en cubierta, descansando sobre los parecillos de madera laminada encolada de abeto.

La mayor parte de la madera queda vista por el interior. El panel contralaminado, fabricado bajo el ETA-14/0349, se utiliza con calidad vista, con las capas exteriores constituidas por una única especie, abeto rojo, al igual que en las vigas interiores y el tablero de cubierta que queda visto desde el interior.

A su vez, la madera de esta construcción recibe protección frente al agua (se previó este condicionante dada la ubicación y las frecuentes lluvias que podían sucederse durante la obra), evitando cualquier imperfección en la madera por escorrentías. También se trató la madera, una vez ejecutada la estructura y cerradas las aguas, con la aplicación de un barniz de mejora de reacción al fuego.

En cuanto al **proceso constructivo y logística**, el análisis de los mismos resultó elemental. La prefabricación de prácticamente la totalidad de los elementos estructurales para que el proceso resultara operativo, y las condiciones propias de la obra, en la que no existían zonas de acopio adecuadas debido a la ubicación singular de las labores, condicionaron la ejecución del proyecto.

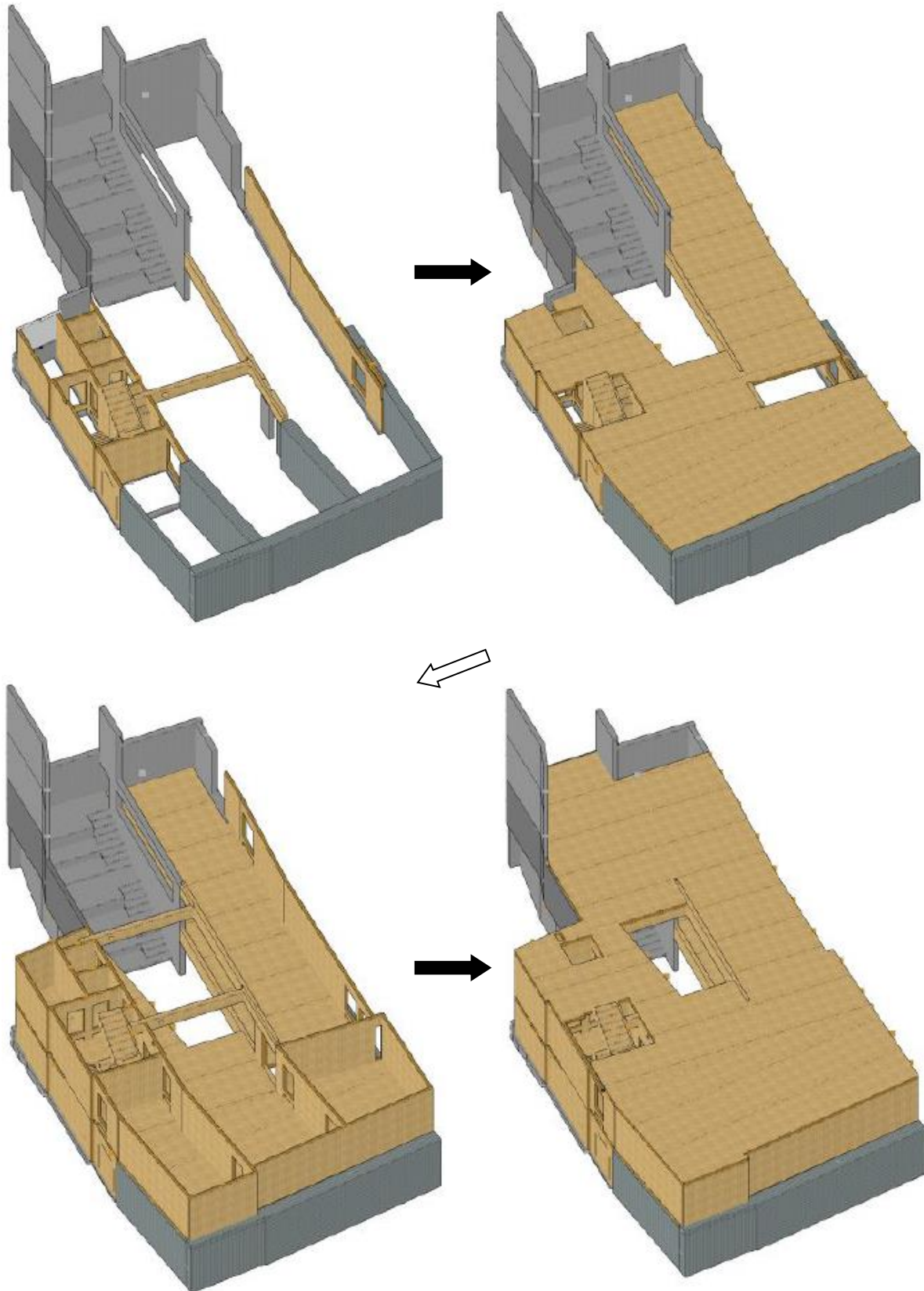


**Figura 6.4.8:**  
Zona de acopios de  
dimensiones reducidas  
(Fuente: Diego Núñez  
Jiménez – Madergia)

Aunque el condicionante de no contar con una zona de acopio adecuada, y de tener que habilitar un pasillo entre la zona de suministro y la zona de obra, toda la estructura se ejecutó en 8 semanas, incluyendo todos los paneles de CLT y las vigas y tableros de cubierta.

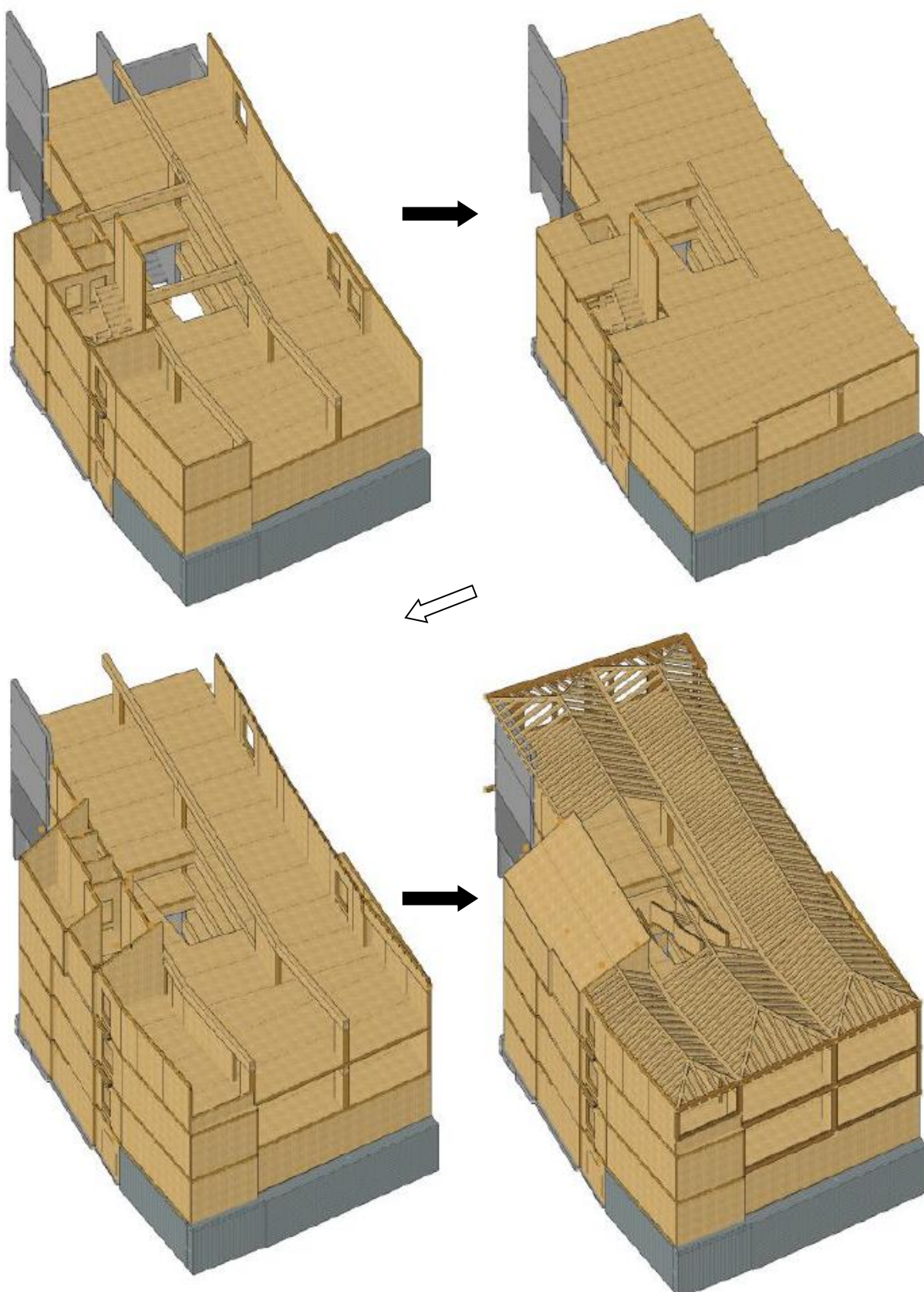


**Figura 6.4.9:**  
Imagen del pasillo para no interrumpir el  
tránsito peatonal.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez – Madergia)



**Figura 6.4.10:**  
Infografía sobre el proceso de construcción e instalación de los elementos que conforman la estructura de madera, donde se aprecia el levantamiento de los dos primeros niveles.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez – Madergia)





**Figura 6.4.11:**  
Infografía sobre el proceso de construcción e instalación de los elementos que conforman la estructura de madera, donde se aprecia el levantamiento de los dos últimos niveles y cubierta.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez – Madergia)

Una vez que la estructura de madera ha sido instalada en su totalidad, es decir, paneles contralaminados de muros de carga, forjados y núcleo de ascensor, así como los elementos laminados y tableros ranurados de cubierta y marcos estructurales de madera laminada de fachada, el último elemento a instalar es la escalera central, prefabricada en su totalidad con CLT.



*Figura 6.4.12: Imágenes de la escalera central durante su instalación.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez - Madergia)*

La escalera central es el elemento de madera más singular y de la edificación, dotando al edificio de un diseño propio y de carácter arquitectónico. Se resuelve mediante un sistema de losa-rellano-losa, donde la zanca quebrada precisa de uniones rígidas, siendo necesario también el empotramiento de los peldaños a dicha zanca estructural para asegurar su estabilidad frente al vuelco lateral, al estar ubicados en la parte inferior de las vigas zancas.

Como se puede observar en la figura 2.8.4.13 de la derecha, la composición de cada peldaño es de cinco capas de panel contralaminado, lo hace que su comportamiento frente al pandeo por flexión sea superior al de una viga de madera laminada de misma sección.



*Figura 6.4.13:  
Peldaños en zanca quebrada.  
(Fuente: Diego Núñez Jiménez - Madergia)*

En relación a **criterios de sostenibilidad**, seguir este proceso de utilización de la madera permite a este edificio formar parte de una voluntad del sector de la construcción de cambiar la situación medioambiental a la que, actualmente, contribuye negativamente, siendo responsable de un tercio de las emisiones de gases nocivos a la atmósfera. Por tanto, uno de los motivos principales para construir con este material es disminuir la huella ecológica del propio proceso constructivo.

La madera utilizada proviene de masas forestales con certificación PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) y FSC (Forest Stewardship Council), producida por Stora Enso desde Austria, siempre garantizando una gestión sostenible del recurso.

Según datos de la empresa productora de CLT Stora Enso (2019), el volumen de madera que han producido y se ha utilizado en este proyecto (380 m<sup>3</sup> de madera contralaminada CLT) se genera en 25 minutos en los bosques austriacos en un día de verano y supone la retirada de 1343 toneladas de CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

A su vez, cuando a esta madera le llegue la hora de reciclarse, podrá ser usada para la generación de energía calorífica y abastecer a unas 62 familias durante un año. Con este volumen de madera se puede conseguir un ahorro de unas 140 toneladas en combustibles fósiles si los residuos y material demolido es utilizado para la producción de energía.

## 7. CONCLUSIONES

La emergencia climática es un hecho contrastado por numerosos organismos y estudios científicos, como los expuestos en este trabajo (Organismo Meteorológico Mundial o Global Carbon Project), que advierten de una concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera sin precedentes, habiendo pasado de 320 partes por millón a superar las 400 en tan solo medio siglo.

Resulta vital mantener y favorecer los recursos forestales y santuarios de biodiversidad que dispone el planeta ya que, desde la Revolución Industrial, han ido en detrimento. Dichas masas naturales contrarrestan los efectos del cambio climático, absorbiendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub> e impidiendo que el gas nocivo llegue a la atmósfera.

La gestión eficiente de estos recursos pasa por el aprovechamiento sostenible, por actividades acreditadas por terceros y por una calidad de los materiales certificada (PEFC y FSC entre otros). De este modo, una actividad basada en la construcción con madera se convierte en el impulso definitivo para repoblar el planeta de bosques, los cuales ya están creciendo en los países occidentales.

España cuenta con 27,6 millones de hectáreas de superficie forestal, unos de los mayores índices de Europa y nuestros bosques crecen a velocidades punteras en el continente. No obstante, el aprovechamiento de nuestros bosques sigue siendo ineficiente y necesitamos importar producto de países europeos. Es vital favorecer la construcción con materia prima autóctona para que la gestión forestal propia sea de calidad.

A partir del árbol se obtienen, tras un proceso tecnológico e industrializado, los productos de la madera con uso estructural en diferentes soluciones. La madera contralaminada (CLT) es, hoy en día, el producto transformado que más se utiliza para la construcción de edificios en altura y los paneles contralaminados pueden ser utilizados en muros de carga, forjados y cubiertas.

Prácticamente la totalidad de un edificio de madera puede realizarse con este producto (panel system) aunque existen otros sistemas que combinan la madera estructural contralaminada con vigas y pilares de madera laminada o maciza formando pórticos (frame system) y o con el hormigón armado (hybrid system).

En España no existen muchos edificios contruidos con estas técnicas. En el noroeste peninsular, una zona con mucha tradición maderera, tan solo se han contabilizado 9 proyectos sumando los ejecutados y los que están en proceso, y los primeros datan de 2011. Llevamos menos de 10 años construyendo en altura con madera tras la generalización del hormigón hace más de un siglo.

La diferencia con países centroeuropeos y nórdicos en concepto de experiencia y cantidad de proyectos es abismal, pero existe una voluntad de cambio en el sector, impulsado por algunas directrices europeas (como la Directiva 2020 sobre clima y energía de la UE) que pueden promocionar y consolidar en nuestro país la construcción de madera y de consumo energético nulo.



## BIBLIOGRAFÍA

### Libros de consulta

Argüelles, R; Arriaga, F. *Estructuras de madera. Bases de cálculo*. Madrid: AITIM, 2013. ISBN: 9788487381447

Green, M; Taagart, J. *Tall Wood Buildings. Design, Construction and Performance*. Birkhäuser. 2017. ISBN: 9783035604757

### Libros complementarios

Peraza, JE; Arriaga, F; Arriaga, C; *Casas de madera*. Madrid: AITIM, 1995. ISBN: 8487381081

Peraza, F; Peraza, JE. *Guía de la madera: productos básicos y carpintería (tomo I)*. Madrid: AITIM, 2010. ISBN: 9788487381416

Peraza, JE; Sánchez coord., otros. *Guía de la madera: construcción y estructuras (tomo II)*. Madrid: AITIM, 2014. ISBN: 9788487381409

Argüelles, R; Arriaga, F; Esteban, M; Íñiguez, G; Argüelles Jr, R. *Estructuras de madera. Uniones*. Madrid: AITIM, 2015. ISBN: 9788487381485

### Ponencias

Cabrero, JM; Carpintero, I., coords. Varios Autores. *Fórum Madera Construcción España. 1er Fórum Internacional de Construcción con Madera. 23/24 mayo 2019. Pamplona (ES)*. Biel, Suiza: FORUM HOLZBAU, 2019. ISBN: 9783906226255

### Informes y documentos oficiales

Montero, G; *Situación de los Bosques y del Sector Forestal en España*. Vitoria, 2013.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Naturales nº 180*. Roma: FAO, 2012.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Compendio de datos*. Roma: FAO, 2016. ISBN 978-92-5-309283-3

World Meteorological Organization. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018*. Ginebra, Suiza. 2019. ISBN: 978-92-63-11233-0

### Artículos de revistas

La revolución de la madera. *TECTÓNICA*. [En línea]. Julio 2001, no. 13, p. 1, ISSN: 2341-3891 [Consulta: 24 marzo 2019]. Disponible en: <[https://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/revolucion\\_de\\_la\\_madera.html](https://www.tectonica.es/arquitectura/madera/estructuras/revolucion_de_la_madera.html)>

Nevado, M. Edificación residencial en altura. Un antecedente en Málaga, una propuesta en Barcelona y una experiencia en Álava. *Infomadera*. AITIM, junio/julio 2011, no. 272, p. 22-24. ISSN 0044-9261

Hondarribia. 65 viviendas VPO. TYM Asociados. *Arquitectura & Madera noviembre 2017*. Zarauz, Guipúzcoa: Publiditec, noviembre 2017. p. 22-29. ISSN: 2340-5422

65 viviendas de madera en altura en Hondarribia. Diseño, evolución y eficiencia. *Más madera*. [En línea]. Pamplona: ADEMAN, noviembre 2017, no. 11, p. 4-8. [Consulta: 3 marzo 2019]. Disponible en: <<http://www.ademan.org/wp-content/uploads/2018/01/Revista-Ademan-n%C2%BA-11.pdf>>

### Artículos de periódico

Madridejos, A; Nuevo récord de CO2 en la atmósfera terrestre. *El Periódico*. [En línea]. Barcelona: octubre 2017. [Consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en: <<https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20171030/record-co2-atmosfera-terrestre-omm-6389832>>

Ormazabal, M; Llegan a España los bloques de pisos de protección oficial de madera. *El País*. [En línea]. Hondarribia: marzo 2017. [Consulta: 4 marzo 2019]. Disponible en: <[https://elpais.com/politica/2017/03/29/diario\\_de\\_espana/1490798404\\_231764.html](https://elpais.com/politica/2017/03/29/diario_de_espana/1490798404_231764.html)>

Egoín S.A. Primer bloque de viviendas energéticamente eficiente de España en Asturias. *Página web de Egoín S.A.* [En línea]. Marzo 2018. [Consulta: 4 mayo 2019]. Disponible en: <<https://egoín.com/primer-bloque-de-viviendas-energeticamente-eficiente-de-espana-en-asturias/>>

R.S. La sede universitaria del Berbés combina la madera y el granito. *Atlántico*. Vigo: marzo 2019. [Consulta: 12 mayo 2019]. Disponible en: <<https://www.atlantico.net/articulo/vigo/sede-universitaria-berbes-combina-madera-granito/20190319005941697097.html>>

## Normas y legislación

Unión Europea. Reglamento de la Madera. Reglamento (UE) N° 955/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera. En: *Diario Oficial de la Unión Europea*. Estrasburgo: 20 octubre 2010.

Unión Europea. Reglamento Europeo de Productos de Construcción. Reglamento (UE) N° 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo. En: *Diario Oficial de la Unión Europea*. Estrasburgo: 9 marzo 2010.

España. Real Decreto 1088/2015, de 4 de diciembre, para asegurar la legalidad de la comercialización de madera y productos de la madera. En: *Boletín Oficial del Estado*. Madrid: BOE, 11 diciembre 2015.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 12872: Tableros derivados de la madera. Guía para la utilización de tableros estructurales en forjados, muros y cubiertas*. Madrid: AENOR, enero 2001.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 12369-1: Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 1: OSB, tableros de partículas y tableros de fibras*. Madrid: AENOR, julio 2001.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 14374: Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos*. Madrid: AENOR, noviembre 2005.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 309: Tableros de partículas. Definición y clasificación*. Madrid: AENOR, noviembre 2006.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 300: Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones*. Madrid: AENOR, abril 2007.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 12369-3: Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 3: Tableros de madera maciza*. Madrid: AENOR, septiembre 2009.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 312: Tableros de partículas. Especificaciones*. Madrid: AENOR, noviembre 2010.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 12369-2: Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 2: Tablero contrachapado*. Madrid: AENOR, octubre 2011.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE 56544: Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas*. Madrid: AENOR, noviembre 2011.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 1912: Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies*. Madrid: AENOR, junio 2012.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 14080: Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos*. Madrid: AENOR, septiembre 2013.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE 56546: Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas*. Madrid: AENOR, noviembre 2013.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 15497: Madera maciza estructural con empalmes por unión dentada. Requisitos de prestación y requisitos mínimos de fabricación*. Madrid: AENOR, octubre 2014.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 636: Tableros contrachapados. Especificaciones*. Madrid: AENOR, julio 2015.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 1995-1-1: Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*. Madrid: AENOR, abril 2016.

Asociación Española de Normalización y Certificación. *UNE-EN 338: Madera estructural. Clases resistentes*. Madrid: AENOR, noviembre 2016.

CTE-DB-SE M. *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Madera*. Abril 2009.

## Web y vídeo

UNE. Normalización Española <https://www.une.org/>

CLT INFO <http://www.clt.info/es/>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación <https://www.mapa.gob.es/es/>

Egoín S.A. *Egoín – DIGIPEN (Zierbana)* [En línea]. YouTube: Soto Produces, 2011.  
[Consulta: 3 mayo 2019]. Disponible en <<https://www.youtube.com/watch?v=A5mnkddiAHA>>



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a los co-directores del proyecto y mis tutores en este trabajo, Alina Avellaneda y Joaquín Montón Lecumberri, por la orientación, ayuda y supervisión a la hora de desarrollar esta investigación.

También me gustaría mencionar a los profesores que he tenido a lo largo de estos años en estudios en la EPSEB, los cuales me han ayudado a crecer como estudiante y profesional. A mis compañeros de carrera, con los que he compartido un tiempo único, y a la ciudad de Barcelona y sus gentes por haberme acogido como uno más.

A los arquitectos Carmelo Fernández Militino (TYM Asociados, Navarra), Nerea Otaduy (O+A Arquitectos, Álava), Hektor Espín Larreta (Astazaldi Arkitektura, Guipúzcoa), Rufino Bruguera (B&J Arquitectura, Navarra), Alberto Bayona (Nasuvinsa, Navarra) y a los ingenieros Jon Gorroño (Egoín S.A, Vizcaya), Diego Núñez Jiménez (Madergia, Navarra), por mostrarse siempre en disposición de colaborar y contribuir a que este trabajo cuente con el mejor material e información.

Y, por último, un agradecimiento especial a mi familia. A mis hermanas, por estar siempre a mi lado, a mi madre, por no rendirte nunca y luchar para que tus hijos puedan desarrollarse en todas las facultades, y a mi padre, que en paz descanse, por transmitirme tu amor por la arquitectura y, en especial, por la madera, pudiendo hoy plasmarlo en este trabajo.

## ANEXOS

## ANEXO A

### CONSTRUCCIÓN CON MADERA: PROCESO Y PARTICIPANTES

En la construcción en madera, como en cualquier otro proceso, participan numerosos agentes, desde el primer paso hasta el último, como si fuera una cadena. O al menos en teoría.

La peculiaridad de la novedosa construcción con madera es que se puede afirmar que el proceso pasa de ser una cadena, donde existe un primer suceso, seguido por otros, hasta llegar a resultado final (la ejecución del edificio), a un círculo, donde el edificio resultante no es el final, sino que da lugar nuevamente al principio. Un proceso que pretende diferenciarse por su industrialización, aprovechamiento de la tecnología del siglo XXI, fiabilidad, eficiencia y sostenibilidad.

Cuando se construye con madera, se favorece a los bosques, la fuente del producto base (madera), y éstos crecen, se repueblan. Lo que a muchos les parece una paradoja, es una realidad. Si se fomenta la construcción con productos de la madera y la gestión y aprovechamiento de los bosques es eficiente, no hay peligro de deforestación, sino todo lo contrario.

Una vez hecha esta breve introducción que pretende mostrar la importancia de cada agente interviniente en la construcción con madera, y que forma parte de un círculo que favorece al medio ambiente, es necesario incidir en los mismos:

La industria europea se concentra en Centroeuropa, sobre todo en Austria (la mayor parte) y Alemania. No es casualidad, allí fue donde se inventó el tablero contralaminado, producto que hoy en día se ha convertido en el más importante en la construcción con madera.

De este modo, es lógico que las empresas más importantes de Europa procedan de países centroeuropeos o nórdicos, donde la demanda y cultura de la madera en construcción tiene más recorrido que en España. No obstante, en nuestro país también contamos con empresas nacionales dedicadas a la madera estructural. A continuación, un repaso de los diferentes agentes y participantes que forman parte de este proceso.

### AGENTES EUROPEOS PARTICIPANTES EN ESPAÑA

En el proceso de la construcción con madera se debe tener en cuenta desde el agente que aprovecha el bosque para obtener la materia prima, pasando por las empresas que transforman este producto básico en un producto transformado y le dotan de propiedades estructurales óptimas para la construcción, hasta el montaje final del edificio. Todo ello sin olvidar a los estudios de arquitectura o constructoras que diseñan los edificios en madera.

Para construir un edificio de madera se requiera una intercomunicación de diferentes agentes. En ocasiones, la empresa que suministra los paneles y la que monta el edificio no es la misma. En otras, casi todo el proceso lo realiza una sola empresa, desde el aserrado hasta el montaje final.

A continuación, un repaso de los agentes y los servicios que ofrecen en nuestro país (aserraderos, fabricantes de producto base, empresas instaladoras, constructoras de casas de madera, estudios de arquitectura que diseñan en madera, etc).

En primer lugar, hacer mención a empresas líderes europeas que también trabajan en nuestro país, con madera estructural, clasificándolas por su país de procedencia:

#### - Alemania



Productos de construcción hechos de materias primas renovables. Empresa puntera en materiales de aislamiento de fibra de madera.



Especialistas en aislamiento a partir de la celulosa, obtenida de bosques de Austria, Bélgica, Francia, y Suecia.



Productos para la unión de elementos (tornillos, anclajes, herrajes, uniones ocultas, conectores, etc.)



Especialistas en técnicas de fijación.



Tableros aislantes de madera.



Uniones, fijaciones, anclajes, etc.



Fabricante de productos transformados de la madera: madera contralaminada, aislamientos de madera, etc.





Productos de conexión y fijación metálicos.



Productos de aislamiento, fijación, uniones y conexiones.

**- Austria:**

Pioneros en la fabricación del tablero contralaminado.



Fabricación de diferentes tipos de tableros: OSB, DHF... y madera aserrada.



Amplia variedad en la fabricación de productos de madera. CLT, madera laminada, maciza, etc.



Fabricación de madera aserrada, madera laminada, CLT, maciza, machihembrada, etc.



Ingeniería de madera. Diseño, producción, logística y montaje de estructuras de madera.



Fabricación de vigas laminadas, vigas dúo, madera aserrada, listones, techos, etc.



- **Francia**

Interlocutores de los fabricantes asegurando la calidad, regularidad y puntualidad de los suministros. Diseño de productos específicos. Asesoramiento y optimización de proyectos.

**PIVETEAUBOIS**

- **Finlandia / Suecia**

Entre muchos otros productos, también fabrican productos de madera estructural, como CLT, LVL, vigas de madera, etc.



- **Italia**



Empresa dedicada a los elementos de fijación y unión, así como a la estanqueidad, acústica y maquinaria.



Maquinaria para la madera: canteadoras, sistemas de movimentación, lijadoras, seccionadoras, prensas, etc.



Tecnologías para el trabajo con madera. Maquinaria. Seccionadoras, lijadoras, capeadoras, prensas, cepilladoras, etc.

- Suiza



Líder en soluciones 3D CAD/CAM para estructuras de madera, desde la planificación arquitectónica hasta la fabricación pasando por el diseño, en un proceso continuo.



Productos variados para la construcción en madera.

## PARTICIPANTES NACIONALES

Tras este repaso a empresas europeas con trayectoria en el ámbito de la construcción de madera que tienen conexiones con España, a continuación, se van a mencionar algunas de las empresas nacionales que destacan en este sector, recorriendo desde aserraderos hasta estudios de arquitectura.

En primera instancia, y a modo de resumen, presento las empresas españolas de más relevancia en este sector y que participaron en el importante 1er Forum Holzbau de España, celebrado en Pamplona, marcando un hito para nuestro país.

- España



**Vizcaya.** Empresa líder en el sector de la construcción con madera de toda la península ibérica. Dotada de medios de producción propios, dos centros de fabricación y con mercado nacional e internacional.

Sus productos más destacables son los paneles de CLT y CLT Mix, y estructuras de madera laminada.

Diseño, desarrollo y montaje de estructuras de madera.



**Barcelona.** Empresa líder en el sector de la construcción industrializada de viviendas, equipamientos, fachadas y envolventes, con criterios de construcción pasiva, salud, sostenibilidad y máxima eficiencia energética.



**Pamplona.** Empresa de vanguardia en construcción sostenible y eficiente energéticamente, utilizando la madera como material de construcción. Distribution & Technical Partner de Stora Enso para la Península Ibérica.



**A Coruña.** Empresa pionera en la fabricación de tableros de madera aglomerada y MDF en la Península Ibérica.



**Asturias.** Empresa dedicada a la primera y segunda transformación de la madera. Explotación forestal, aserrado, secado y comercialización de madera, así como la fabricación de productos de madera maciza encolados.



**Navarra.** Empresa que ofrece materiales procedentes de materias primas renovables. Elaboran productos como: madera técnica estructural, aislamientos (de fibra de madera, papel de periódico reciclado y corcho), sistemas de hermeticidad, productos para la protección de la madera o revestimientos de muros y paredes.



**Navarra.** Distribuidora en España de materiales de construcción especializada en Passivhaus, facilitamos tanto los productos y materiales necesarios, como el conocimiento para su correcta aplicación.



**Álava.** Primer fabricante mundial de vigas laminadas de maderas frondosa. Fabrican productos como vigas laminadas de roble, perfiles laminados o tableros alistonados.



**Vizcaya.** Viviendas en CLT, passivhaus, rehabilitaciones y todo tipo de construcción con madera. Su proveedor oficial de productos de madera es KLH.



**Navarra.** Empresa distribuidora de maquinaria europea para la industria de la madera y del mueble.



**Madrid.** Empresa de arquitectura especializada en proyectos con estructura de madera y de consumo casi nulo (nZEB). Presta servicios de asesoramiento, diseño de edificios y gestión integral de proyectos desde la fase inicial hasta la entrega de llaves.



Por último, cabe realizar una mención específica para los arquitectos, estudios de arquitectura u organismos públicos encargados del diseño o promoción de los edificios de madera recogidos en este documento:

- **2011, edificio de viviendas en Santa Cruz de Campezo, Álava**



La Sociedad Arabarri, *Sociedad Anónima de Gestión del Patrimonio Cultural Edificado de Álava S.A.*, fue el organismo promotor de este edificio.

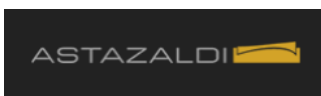
Nerea Otaduy y Ana Saracho, y con la colaboración con Ricardo Aristizabal, fueron los arquitectos que proyectaron el edificio, en el estudio de arquitectura:

**O+A arquitectos**, de Vitoria, Álava.

- 2011, Ayuntamiento de Ikaztegieta, Guipúzcoa



El Gobierno Vasco, mediante la agencia pública Etorlur, promovió un plan para impulsar la construcción de edificios en madera en el País Vasco.



El estudio de arquitectura **Astazaldi Arkitektura**, de Oyarzun, Guipúzcoa, fue el encargado de proyectar en madera el ayuntamiento de esta localidad.

- 2011, Universidad DigiPen Bilbao, Vizcaya



La construcción de este edificio de madera fue proyectada y dirigida por el arquitecto Ander de la Fuente, de la Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea

- 2018, dos edificios de viviendas en Hondarribia, Gipúzcoa



Visesa, *Vivienda y suelo de Euskasi S.A.*, sociedad pública adscrita al Gobierno Vasco, promocionó dos edificios de viviendas de protección oficial para venta y alquiler.



Los edificios, de madera, fueron proyectados por el estudio de arquitectura pamplonés **TYM asociados**, dirigido por el arquitecto Carmelo Fernández Militino.

- **2019, Equipamiento público de la Universidad de Vigo, Pontevedra**



La Xunta de Galicia, a través de la Agencia Gallega de la Industria Forestal, la Universidad de Vigo y la Fundación Centro Tecnológico del Granito de Galicia se comprometieron a cooperar en la promoción del uso de la madera y de la piedra del país en todas las nuevas infraestructuras de la U. de Vigo.

Elizabeth Alonso y Gonzalo Alonso fueron los arquitectos que proyectaron este edificio bajo el nombre de su estudio **Abalo Alonso arquitectos**.

- **2019, Edificio de viviendas en Muros de Nalón, Asturias**



El Gobierno del Principado de Asturias, mediante la Consejería de Vivienda, impulsó el edificio con estándares PassivHaus construido en madera. La arquitecta redactora del proyecto y encargada de la dirección de obra es Cristina Fernández Somoano.

- **2021, Edificio de viviendas en Pamplona, Navarra**



La sociedad pública Nasuvinsa, *Navarra de Suelo y Vivienda S.A.*, promotora y gestora de todo tipo de inmuebles, en especial de vivienda protegida, venta o alquiler de pisos en Navarra, junto con el Ayuntamiento de Pamplona, han promocionado este edificio de viviendas en Pamplona con vistas a finalizarse en 2021.

La redacción de proyecto corre a cargo del equipo de arquitectura e ingeniería de Nasuvinsa.

- **2021, Edificio de viviendas en Aranguren, Navarra**



Mismo procedimiento que el anterior edificio, difiriendo en que, en este caso, el inmueble será construido en otro municipio (Aranguren), por lo que no cuenta con la colaboración del ayuntamiento de Pamplona.

Pero existen muchas más empresas que no aparecen en la vista anterior. Empresas españolas dedicadas a aprovechar los bosques y fabricar el producto base, a transformarlo, empresas de almacenamiento o de montaje, que no tienen la visibilidad como otras más desarrolladas y potentes.

Por provincias, y según la herramienta online *Maderea.es*, dedicada a centralizar la industria de la madera, las principales empresas nacionales dedicadas a la madera estructural y que participan de manera activa en el proceso del aprovechamiento de los bosques y de la construcción con madera son las siguientes:

**A coruña:**

- MADERAS BECERRA S.L.:
- HIJOS DE VICENTE SÁNCHEZ:
- ASERRADERO GARCÍA SECO S.L.:
- CARPINTERÍA SANJURJO
- CARPINTERÍA CUATRO CAMINOS S.L.
- VICENTE DE LA FUENTE S.L.:

**Asturias:**

- SIERO LAM S.L.
- NORATH MADERA
- MEDIA MADERA INGENIEROS CONSULTORES S.L.
- CARPINTERÍA BP CUÉTARA IBÁÑEZ S.L.

**Barcelona:**

- SERRADORA CUNILL
- DISINWOOD



**Burgos:**

- MADERAS DE MARÍA S.COOP.
- MADERAS HIJOS DE TOMÁS MARTÍN S.L.
- MADERAS MARTÍN ALONSO MARTÍN S.L.
- MADERAS MARTÍN S.L.
- SERRERÍA TEMIÑO S.L.

**Cantabria:**

- MADERAS MG

**Cuenca:**

- MADERAS CUENCA S.A.

**Girona:**

- MADEGESA
- FUSTECH

**Granada:**

- EXPLOTACIONES Y SERVICIOS AGRÍCOLAS FALGAR S.L.

**Guadalajara:**

- MADERAS ABAD

**Guipúzcoa:**

- SERRERÍA GOIKOETXEAUNDIA S.L.
- SERRERÍA LARRAÑAGA

**Huelva:**

- MADERAS GANDULO

**Jaén:**

- MADERARQ
- NARMER7, S.L.

**León:**

- IDM TIMBER ENGINEERING S.L.

**Lleida:**

- EFAUSA
- GRAU I GRAU S.L.

**Lugo:**

- LIGNIA, INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN EN MADERA
- LAMINADOS VILLAPOL S.A.
- MADERBAR S.L.
- MADEFON S.COOP.

**Madrid:**

- S.A. BELGA DE LOS PINARES PAULAR
- INGENIERÍA Y BIOPROTECCIÓN AMBIENTAL S.L.
- CAJAS DE MADERA NATURAL S.L.
- METRO CASAS
- MARTÍN MARTINEZ MADERAS
- TRAMONSER

**Murcia:**

- HOLZDESIGN

**Navarra:**

- SERRERÍA ALEMÁN S.L.
- MADERAS ANSORENA S.L.
- BARBERENA S.L.
- SERRERÍA ESPARZA
- IDE CONSTRUCCIÓN EN MADERA
- CARPINTERÍA HERMANOS AZPIROZ
- MADERAS VALLE DEL RONCAL
- E.D.M. OLLOKI
- MADERGIA

**Ourense:**

- MADERAS GRELEIROS S.L.
- LISARDO GONZÁLEZ S.L.
- MADERAS OJEA

**Palencia:**

- MADERAS JUEZ S.L.

**Pontevedra:**

- MADERAS GERMÁN FUENTES PORTO E HIJOS
- MADERAS DEL SALNÉS

**Salamanca:**

- MADERAS CASCÓN S.L.

**Segovia:**

- FORESTAL MADERERA LUIS CUESTA S.L.
- HIJOS DE DANIEL GÓMEZ S.A.
- JUSTO HERRERO GONZÁLEZ S.A.
- ARTESANIA NATURAL EL BOSQUE S.L.
- MADERAS VALSAIN
- MADERAS JOSE FÉLIZ SANZ DE DIEGO

**Soria:**

- MADERA PINOSORIA S.L.
- MADERAS SOTILLOS S.L.
- MADERAS GARMA
- AMATEX, S.A.U.
- MADERAS RUPEREZ S.L.
- SABINA Y MADERAS DE SORIA S.L.

**Toledo:**

- IPEMA
- MADERAS NACIMIENTO S.L.

**Valencia:**

- MADERAS Y CHAPAS BLANQUER S.L.
- YUBERO Y BELMONTE S.L.
- FUSTERÍA FRANCÉS
- MARCELINO PEREA IMPORT-EXPORT VENEERS, WOOD, PLYWOOD
- MOJOFESA MADERAS

**Valladolid:**

- MADERAS PISUERGA
- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN LA MERCED C.B.

**Vizcaya:**

- EXPLOTACIONES E IMPREGNACIONES FORESTALES S.A.
- MADERAS AGUIRRE S.A.
- ASIEWOOD S.L.
- EGOIN S.L.



## ANEXO B

### B.1 VALORES CARACTERÍSTICOS MADERA ASERRADA

**Figura Anexo B.1.1:**  
Clases resistentes de  
madera aserrada.  
Coníferas y chopo. Valores  
característicos (UNE-EN  
338:2010).  
(Fuente: Argüelles, R;  
Arriaga, F. Estructuras de  
madera. Bases de cálculo)

		Especies coníferas y chopo											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<b>Propiedades resistentes en N/mm<sup>2</sup></b>													
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracción perpend.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compresión perpend.	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Propiedades de rigidez en kN/mm<sup>2</sup></b>													
M. elast. paralelo med.	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
M. elast. paralelo 5º p.	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
M. elast. perp. med.	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
M. de cortante medio	$G_{mean}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
<b>Densidad en kg/m<sup>3</sup></b>													
Densidad caract.	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidad media	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

**Figura Anexo B.1.2:**  
Clases resistentes de  
madera aserrada.  
Fronchosas. Valores  
característicos (UNE-EN  
338:2010).  
(Fuente: Argüelles, R;  
Arriaga, F. Estructuras de  
madera. Bases de cálculo)

		Especies frondosas							
		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propiedades resistentes en N/mm<sup>2</sup></b>									
Flexión	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpend.	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpend.	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
<b>Propiedades de rigidez en kN/mm<sup>2</sup></b>									
Mód. elast. paralelo medio	$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Mód. elast. paralelo 5º percentil	$E_{0,05}$	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Mód. elast. perpendicular medio	$E_{90,mean}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Mód. de cortante medio	$G_{mean}$	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
<b>Densidad en kg/m<sup>3</sup></b>									
Densidad característica	$\rho_k$	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	$\rho_{mean}$	570	580	640	650	660	750	840	1080

## B.2 VALORES CARACTERÍSTICOS MADERA LAMINADA ENCOLADA

Propiedad	Símbolo	Clase resistente de madera laminada encolada						
		GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h	GL 30h	GL 32h
Resistencia a flexión	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Resistencia a tracción	$f_{t,0,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
	$f_{t,90,k}$	0,5						
Resistencia a compresión	$f_{c,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,k}$	2,5						
Resistencia a cortante (cortante y torsión)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Resistencia a cortante por rodadura	$f_{r,g,k}$	1,2						
Módulo de elasticidad	$E_{0,g,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Módulo de cortante	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Módulo de cortante por rodadura	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densidad	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

**Figura Anexo B.2.1:** Propiedades de resistencias características y rigidez en N/mm<sup>2</sup> y densidades en kg/m<sup>3</sup> para la madera encolada homogénea (EN 14080).  
(Fuente: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

Propiedad	Símbolo	Clase resistente de madera laminada encolada						
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c	GL 32c
Resistencia a flexión	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Resistencia a tracción	$f_{t,0,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,5						
Resistencia a compresión	$f_{c,0,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
	$f_{c,90,k}$	2,5						
Resistencia a cortante (cortante y torsión)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Resistencia a cortante por rodadura	$f_{r,g,k}$	1,2						
Módulo de elasticidad	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Módulo de cortante	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	542						
Módulo de cortante por rodadura	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Densidad	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430	440

**Figura Anexo B.2.2:** Propiedades de resistencias características y rigidez en N/mm<sup>2</sup> y densidades en kg/m<sup>3</sup> para la madera encolada combinada (EN 14080).  
(Fuente: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

### B.3

#### B.3.1 VALORES CARACTERÍSTICOS MADERA MICROLAMINADA

Propiedad	Símbolo, fig.2	Valor característico, N/mm <sup>2</sup> o kg/m <sup>3</sup>		
		Kerto-S Grueso: 21-90 mm	Kerto-Q Grueso: 21-24 mm	Kerto-Q Grueso: 27-69 mm
<b>5º percentil</b>				
Resistencia a flexión:				
De canto (h = 300 mm)	f <sub>m,0,canto,k</sub> A	44,0	28,0	32,0
De cara, paralelo a fibra	f <sub>m,0,cara,k</sub> B	50,0	32,0	36,0
De cara, perpendicular a fibra	f <sub>m,90,cara,k</sub> C	-	8,0*	8,0
Resistencia a tracción:				
Paralela a fibra (long. 3000 mm)	f <sub>t,0,k</sub> D	35,0	19,0	26,0
Perpendicular a fibra, de canto	f <sub>t,90,canto,k</sub> E	0,8	6,0	6,0
Perpendicular a fibra, de cara	f <sub>t,90,cara,k</sub> F	-	-	-
Resistencia a compresión:				
Paralela a la fibra	f <sub>c,0,k</sub> G	35,0	19,0	26,0
Perpendicular a fibra, de canto	f <sub>c,90,canto,k</sub> H	6,0	9,0	9,0
Perpendicular a fibra, de cara	f <sub>c,90,cara,k</sub> I	1,8	2,2	2,2
Resistencia a cortante:				
De canto	f <sub>v,0,canto,k</sub> J	4,1	4,5	4,5
De cara, paralelo a fibra	f <sub>v,0,cara,k</sub> K	2,3	1,3	1,3
De cara, perpendicular a fibra	f <sub>v,90,cara,k</sub> L	-	0,6	0,6
Módulo de elasticidad:				
Paralelo a la fibra, longitudinal	E <sub>0,k</sub> ABDG	11.600	8.300	8.800
Paralelo a la fibra, transversal	E <sub>90,k</sub> C	-	1.000*	1.700
Perpendicular a fibra, de canto	E <sub>90,canto,k</sub> H	350	2.000	2.000
Perpendicular a fibra, de cara	E <sub>90,cara,k</sub> I	100	100	100
Módulo de cortante:				
De canto	G <sub>0,canto,k</sub> J	400	400	400
De cara, paralelo a fibra	G <sub>0,cara,k</sub> K	400	60	100
De cara, perpendicular a fibra	G <sub>90,cara,k</sub> L	-	16	16
Densidad	ρ <sub>k</sub>	480	480	480
<b>Valores medios</b>				
Módulo de elasticidad:				
Paralelo a fibra, longitudinal	E <sub>0,mean</sub> ABDG	13.800	10.000	10.500
Paralelo a fibra, transversal	E <sub>90,mean</sub> C	-	1.200*	2.000
Perpendicular a fibra, de canto	E <sub>90,canto,mean</sub> H	430	2.400	2.400
Perpendicular a fibra, de cara	E <sub>90,cara,mean</sub> I	130	130	130
Módulo de cortante:				
De canto	G <sub>0,canto,mean</sub> J	600	600	600
De cara, paralelo a fibra	G <sub>0,cara,mean</sub> K	600	60	120
De cara, perpendicular a fibra	G <sub>90,cara,mean</sub> L	-	22	22
Densidad	ρ <sub>mean</sub>	510	510	510

s= 0,12 (parámetro del efecto de tamaño)

\* Para la disposición de chapas (I-III-I) se pueden utilizar los valores de 14,0; 2.900 y 3.300 en lugar de 8,0; 1.000 y 1.200, respectivamente (véase VTT certificado)

**Figura Anexo B.3.1:**  
Valores característicos de las propiedades físicas y mecánicas del Kerto (Certificado del VTT n° 184/03 revisado en 2009 sobre Kerto. (Fuente: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

s= 0,12 (parámetro del efecto de tamaño)

\* Para la disposición de chapas (I-III-I) se pueden utilizar los valores de 14,0; 2.900 y 3.300 en lugar de 8,0; 1.000 y 1.200, respectivamente (véase VTT certificado)

## B.3.2 NOMENCLATURA MADERA MICROLAMINADA

Condiciones de carga	Madera microlaminada en flexión de canto	Madera microlaminada en flexión de cara
	$f_{m,0,canto}$ $f_{v,0,canto}$	$f_{m,0,cara}$ $f_{v,0,cara}$
	$f_{t,0}$	$f_{t,0}$
	$f_{t,90,canto}$	$f_{t,90,cara}$
	$f_{c,0}$	$f_{c,0}$
	$f_{c,90,canto}$	$f_{c,90,cara}$

**Figura Anexo B.3.2.1:**  
Nomenclatura para las propiedades mecánicas.  
(UNE-EN 14374).  
(Fuente: Argüelles, R;  
Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

A. Flexión de canto, paralela a la fibra (m,0,canto)	B. Flexión de cara, paralela a la fibra (m,0,cara)	C. Flexión de cara, perpendicular a la fibra (m,90,cara)
D. Tracción, paralela a la fibra (t,0)	E. Tracción de canto, perpendicular a la fibra (t,90,canto)	F. Tracción de cara, perpendicular a la fibra (t,90,cara)
G. Compresión, paralela a la fibra (c,0)	H. Compresión de canto, perpendicular a la fibra (c,90,canto)	I. Compresión de cara, perpendicular a la fibra (c,90,cara)
J. Cortante de canto, paralelo a la fibra (v,0,canto)	K. Cortante de cara, paralelo a la fibra (v,0,cara)	L. Cortante de cara, perpendicular a la fibra (v,90,cara)

**Figura Anexo B.3.2.2:**  
Nomenclatura para las propiedades mecánicas.  
(Certificado VTT 184/03, KERTO 2009).  
(Fuente: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)



## B.4 VALORES CARACTERÍSTICOS MADERA RECONSTITUIDA

Propiedades		Canto de la sección en mm		
		≤ 174	305	483
Densidad	$\rho_k$	680 kg/m <sup>3</sup>		
Resistencias				
Flexión <sup>1)</sup>	$f_{m,k}$	46	44	42
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	34		
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0,5		
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	40		
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	De canto	Testa <sup>2)</sup>	7,2
			Vano <sup>3)</sup>	9,2
		De cara	Testa <sup>2)</sup>	3,8
			Vano <sup>3)</sup>	6,0
Cortante	$f_{v,0,k}$	6,9		
	$f_{v,90,k}$	5,9		
Rigideces				
Módulo de elasticidad a flexión		$E_{m,0,mean}$	14.500	
Módulo de elasticidad a tracción paralela		$E_{t,0,mean}$	14.500	
Módulo de elasticidad a compresión paralela		$E_{c,0,mean}$	14.500	
Módulo de cortante		$G_{mean}$	750	

<sup>1)</sup> Entre 174 mm y 305 mm, así como entre 305 mm y 483 mm se puede interpolar linealmente.

<sup>2)</sup> La región de la testa es aquella situada a una distancia de la testa ≤ 3·h

<sup>3)</sup> La región del vano es aquella situada a una distancia de la testa > 3·h

**Figura Anexo B.4:**  
Valores característicos de las propiedades físicas y mecánicas del PSL – Parallam en N/mm<sup>2</sup> y kg/m<sup>3</sup> (Galiläa y Mohrmann 2006) (Fuente: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)

## B.5 VALORES CARACTERÍSTICOS MADERA CONTRALAMINADA

Tipo de sollicitación	Clase resistente de la madera utilizada		
	C 16	C24	
Valores característicos de resistencia en N/mm <sup>2</sup>			
Flexión	$f_{m,k}$	16	24
Tracción	$f_{t,0,k}$	10	14
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4
Compresión	$f_{c,0,k}$	17	21
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5
Cortante	$f_{v,k}$	1,8	2,5
Cortante por rodadura	$f_{r,k}$	0,70	
Valores característicos de rigidez en N/mm <sup>2</sup>			
Módulo de elasticidad flexión	$E_{0,mean}$	8000	11000
	$E_{90,mean}$	270	370
Módulo de cortante	$G_{mean}$	500	690
Módulo de cortante por rodadura	$G_{r,mean}$	50	

**Figura Anexo B.5:**  
Valores característicos de paneles contralaminados. (Fuente: Argüelles, R; Arriaga, F. Estructuras de madera. Bases de cálculo)